

Veikko Valjus

# **VIRTUAALINEN TUOTANTOJÄRJESTELMÄ OPETUSYMPÄRISTÖNÄ**

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Toukokuu 2019

# TIIVISTELMÄ

Veikko Valjus: Virtuaalinen tuotantojärjestelmä opetusympäristönä, The use of a virtual FMS as an engineering education environment

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Kone- ja tuotantotekniikka

Toukokuu 2019

---

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan Tampereen yliopiston hankkimaan virtuaaliseen tuotantojärjestelmään ja sen käyttöön opetusympäristönä. Kyseessä on yhteistyöprojekti Tampereen yliopiston ja Fastemsin välillä, jonka tavoitteena on parantaa tuotantotekniikkaan liittyvien opintojen laatua. Virtuaalijärjestelmä toimii yliopiston mikroluokassa ja sitä hyödynnettiin opetuskäytössä ensimmäistä kertaa kevään 2019 aikana kurssilla MEI-50400 Johdanto tuotantotekniikkaan. Virtuaaliympäristö toimii Fastemsin tuotannonohjausjärjestelmän avulla ja siihen on liitetty Fastemsin Touch OP sekä kolme yliopiston mikroluokan tietokonetta. Järjestelmän tueksi on myös kehitetty Visual Components -malli, jonka tavoitteena on havainnollistaa järjestelmän toimintaa opiskelijoille.

Kurssiin MEI-50400 Johdanto tuotantotekniikkaan kuului neljä erilaista harjoitusta, jotka toteutettiin yliopiston virtuaaliympäristön sekä Fastemsin Training Centerin avulla. Kurssin harjoitukset oli suunniteltu siten, että opiskelijat tutustuvat joustaviin tuotantojärjestelmiin ensin virtuaalisesti ja pääsevät sen jälkeen harjoittelemaan oikean tuotantojärjestelmän käyttöä. Opiskelijat pääsivät siis tutustumaan myös tuotannossa tehtäviin töihin. Harjoitusten tarkoituksena oli kuitenkin opettaa opiskelijoille joustavien tuotantojärjestelmien perusteet, eikä niinkään kouluttaa heistä tuotannon työntekijöitä.

Opetusympäristön ensimmäinen kokeilukerta oli onnistunut ja sitä tullaan jatkossakin hyödyntämään Tampereen yliopiston tuotantotekniikan opetuksessa. Jatkokehityksen tavoitteena olisi laajentaa järjestelmän käyttöä myös muille kursseille sekä pyrkiä paremmin hyödyntämään kaikkia sen tarjoamia ominaisuuksia. Aiheeseen liittyvää kehitystyötä tapahtuu jatkuvasti, joka varmasti avaa uusia mahdollisuuksia järjestelmän hyödyntämiseen tulevaisuudessa.

Avainsanat: opetusympäristö, virtuaalimalli, joustava tuotantojärjestelmä, Virtual FMS

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön tulokset syntyivät noin vuoden kestäneen työsuhteeni aikana Tampereen yliopistolla (entisellä Tampereen teknillisellä yliopistolla) ja haluaisinkin kiittää kaikkia projektiin osallistuneita ja siinä minua auttaneita henkilöitä. Koko vuosi oli mielestäni todella mukavaa ja mielenkiintoista aikaa, jonka aikana opin monia uusia asioita sekä löysin uusia mahdollisuuksia.

Erityiskiitokset ansaitsevat kandiohjaajani/työkaverini Hasse Nylund, joka neuvoi ja ohjasi minua työni aikana sekä Fastemsin Harri Nieminen, joka toimi yhteyshenkilönäni kaikkiin Fastemsiin liittyviin asioihin.

Tampereella, 17.05.2019

**Veikko Valjus**

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. JOUSTAVAT TUOTANTOJÄRJESTELMÄT .....	3
2.1 Laitteet .....	3
2.2 Joustavuus ja sen hyödyt .....	9
3. VIRTUAALIMALLIT .....	12
3.1 Simulaatiomallit .....	12
3.2 Hyödyt ja käyttö .....	13
4. CASE: VIRTUAL FMS .....	15
4.1 Ympäristön esittely .....	15
4.2 Järjestelmän käyttöliittymä .....	19
4.3 Visual Components -malli .....	25
4.4 Training Center .....	26
4.5 Käyttöönotto ja dokumentaatio .....	27
4.6 Harjoitukset ja opetuskäyttö .....	29
4.7 Havainnot .....	34
4.8 Jatkokehitys ja tulevaisuus .....	37
5. YHTEENVETO .....	39
LÄHTEET .....	40

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

FMS	Flexible Manufacturing System, joustava tuotantojärjestelmä
MMS	Manufacturing Management Software, Fastemsin tuotannon- ohjausjärjestelmä
NAS	National Aerospace Standard, Yhdysvaltojen ilmailuteollisuuden kehittämä standardi
REST	Representational State Transfer, arkkitehtuurimalli ohjelmistoraja- pintojen toteuttamiseen

# 1. JOHDANTO

Joustavat tuotantojärjestelmät ovat hyvin merkittävä osa nykypäivän kappaletuotantoa, koska jatkuvasti kasvavan kysynnän takia tuotanto on siirtymässä kohti yksittäiskappaleiden valmistusta. Joustavuuden merkitys yksittäiskappaleiden valmistuksessa on hyvin suuri. Joustavat tuotantojärjestelmät mahdollistavat nopeat ja kustannustehokkaat asetusajat, kasvattavat koneiden käyttöastetta ja vähentävät tarvittavien työkalujen määrää dynaamisen reitityksen avulla, minivoivat keskeneräisen tuotannon ja varaston kokoa, vähentävät ihmisten määrää valmistuksessa sekä parantavat valmistuksen laatua automaattioratkaisujen avulla.

Tuotantojärjestelmän hankinta on kuitenkin yleensä pitkä ja kallis prosessi tarvittavien laitteiden, tilojen ja järjestelmien takia. Järjestelmän hankinta vaatii usein hyvin suuria investointeja ja se sisältää monia riskejä sekä epävarmuutta järjestelmän soveltuvuudesta ja todellisesta suorituskyvystä. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi on kehitetty simulaatio- ja virtuaalimalleja, joiden avulla tuotantojärjestelmän toimintaa voidaan suunnitella ja ennustaa ennen varsinaisen järjestelmän hankintaa. Mallien avulla voidaan esimerkiksi suunnitella tarvittavien työstökoneiden tai robottisolujen määrää ja havaita merkittäviä pullonkauloja. Myös asiakaskohtaisia erityistarpeita järjestelmän ohjauksen suhteen voidaan testata ja kehittää ensin virtuaalijärjestelmän avulla, jonka jälkeen ohjaus voidaan tuoda oikeaan järjestelmään. Kyseisiä malleja voidaan hyödyntää myös järjestelmän käyttöönoton jälkeen, jos suunnitellaan mahdollisia lisäyksiä tai päivityksiä järjestelmään.

Toinen merkittävä hidaste uuden tuotantojärjestelmän hankinnassa on henkilöstön koulutus ja siihen kuluva aika. Modernit tuotantojärjestelmät sekä niiden ohjaus ovat usein hyvin monimutkaisia ja käytön oppiminen voi olla haastavaa. Virtuaalijärjestelmien avulla henkilöstön koulutus voidaan kuitenkin aloittaa jo ennen järjestelmän toimitusta ja käyttöönottoa. Virtuaalijärjestelmä tarjoaa turvallisen ja intuitiivisen alustan oppimiselle ja sen käyttäminen ideaalitulanteessa vastaa täysin oikean tuotantojärjestelmän käyttämistä, jolloin oppiminen tapahtuu tehokkaasti ja oikean järjestelmän käyttöön siirtyminen on mahdollista erittäin nopeasti. Virtuaalijärjestelmä on myös täysin erillään oikeasta tuotannosta, jolloin koulutus ei häiritse tuotantoa.

Tämän työn teoriaosiossa tarkastellaan joustavia tuotantojärjestelmiä ja niiden virtuaalimalleja. Tarkastelu aloitetaan perehtymällä joustavien tuotantojärjestelmien historiaan ja järjestelmiin kuuluviin laitteisiin. Tämän jälkeen pohditaan kyseisten järjestelmien hyötyjä ja tulevaisuutta. Reaalijärjestelmien jälkeen siirrytään erilaisten virtuaalimallien pariin. Virtuaalimallien osalta perehdytään perinteisiin simulaatiomalleihin ja niiden hyötyihin.

Teoriaosion jälkeen keskitytään Tampereen yliopiston ja tuotantoautomaatioon erikoistuneen Fastemsin yhteistyöprojektiin, jossa Fastemsin toimittamaa virtuaalijärjestelmää hyödynnetään yliopiston opetuksessa. Kyseessä on ensimmäinen opetuskäyttöön toimitettu järjestelmä ja sen jatkokehityksen tarkoituksena on mahdollistaa monipuolisten opetusmenetelmien käyttäminen tuotantotekniikan opinnoissa. Lopuksi pohditaan opetusympäristön jatkokehitystä ja opetuksen onnistumista.

## 2. JOUSTAVAT TUOTANTOJÄRJESTELMÄT

Tarve tuotannon uudistamiselle syntyi 1960-luvun loppupuolella, kun markkinat alkoivat siirtyä massatuotannosta pienerätuotantoon. Kirjallisuuden mukaan siirtyminen jäykistä massatuotantolinjoista joustaviin tuotantojärjestelmiin muokkasi valmistusteknologiaa ja tuotantotyötä merkittävästi. Tuotevariaation ja kustomoitavuuden lisääntyessä syntyi tarve monipuolisille työstökoneille ja nopeille asetusajoille. (Beach et al. 2000; Seth 2003)

Joustavat tuotantojärjestelmät perustuvat nimensä mukaisesti joustavuuteen ja sen tarjoamiin hyötyihin. Joustavaksi tuotantojärjestelmäksi voidaan määritellä järjestelmä, jossa valmistavia operaatioita suorittavia laitteita palvelee automatisoitu materiaalinhallintajärjestelmä ja näiden laitteiden toimintaa ohjaa tietokoneohjattu tuotannonohjausjärjestelmä. (Shivanand et al. 2006) Järjestelmien ideana on mahdollistaa tehokas pienerätuotanto, materiaalinhallinta ja miehittämätön tuotanto.

Joustavuus itsessään kuvaa järjestelmän kykyä reagoida ympäristön muutoksiin ja epävarmuuteen mahdollisimman pienillä kustannuksilla (De Toni & Tonchia 1998; Beach et al. 2000) Joustavuuden avulla pystytään kattamaan laajoja markkina-alueita ja vastaamaan muuttuvaan kysyntään tehokkaasti. Tämä parantaa yrityksen kilpailukykyä ja näin ollen vahvistaa sen asemaa markkinoilla. (Beach et al. 2000)

### 2.1 Laitteet

Joustava tuotantojärjestelmä koostuu perinteisesti kolmesta erityyppisestä komponentista ja niiden yhdistelmistä. Nämä komponentit ovat työasema, materiaalinhallintajärjestelmä ja tuotannonohjausjärjestelmä. Työasemalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sellaista asemaa, jossa voidaan suorittaa valmistusta edistäviä operaatioita. Näitä ovat esimerkiksi järjestelmän työstö- ja pesukoneet sekä lataus- ja materiaaliasemat. (Shivanand et al. 2006) Tässä luvussa esitellään joustavaan tuotantojärjestelmään kuuluvat laitteet ja niiden käyttötarkoitukset. Luvussa keskitytään niihin laitteisiin, jotka löytyvät myöhemmin esiteltävästä Tampereen yliopiston virtuaalijärjestelmästä.

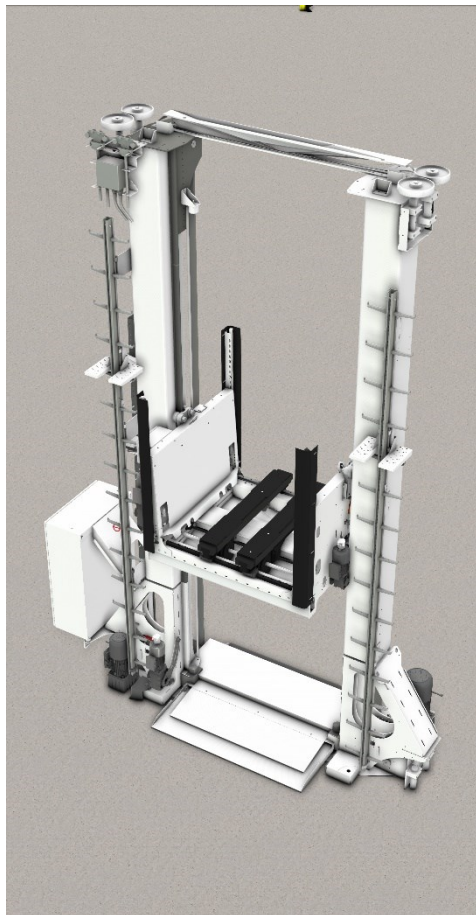
#### Materiaalinhallinta

Joustavan tuotantojärjestelmän sydämenä voidaan pitää materiaalinhallintajärjestelmää, koska sen pysähtyessä yleensä koko järjestelmän toiminta pysähtyy. Materiaalinhallin-



tajärjestelmä vastaa kaikesta järjestelmän materiaalivirrasta ja täten mahdollistaa valmistuksen etenemisen. Materiaalinhallintajärjestelmä voidaan toteuttaa monella eri tapaa riippuen tuotantojärjestelmän vaatimuksista.

Yksi ratkaisu materiaalinhallintaan on hyllymäinen materiaalivarasto ja siihen yhdistetty materiaalihissi, joka palvelee koko järjestelmää. Ratkaisun hyötyinä voidaan pitää tehosta lattiapinnan hyödyntämistä sekä helppoa laajennettavuutta. (Fastems 2019) Materiaalihissi kulkee hissikuilussa, joka muodostuu paletteja sisältävistä hyllyistä. Riippuen järjestelmän tarpeista ja hissikuilun toteutuksesta kuilu voi olla kaksi- tai yksipuolinen. Kaksipuolisen hissikuilun etuna on materiaalivaraston kapasiteetin lisääminen ilman suurta lisäystä käytetyssä lattiapinta-alassa. Yksittäisessä järjestelmässä voi myös olla useita materiaalihissejä, jolloin niiden yhteistyö mahdollistaa nopeat palettiensirtoajat. (Bonetto 1988; Shivanand et al. 2006) Kuvassa 1 on esiteltynä geneerisen materiaalihissin 3D-malli.



**Kuva 1. Materiaalihissi**

Materiaalihissi toimii siten, että se poimii paletin haarukoilleen ja ottaa sen kuljetukseen. Hissin saavuttua määränpäähän se asettaa paletin vastaanottavalle laitteelle. Kaikki järjestelmän laitteet ja materiaalihissi tulee olla suunniteltu siten, että materiaalien ja osien

siirto laitteiden välillä on turvallista ja tehokasta. Materiaalihissi voi toteutuksesta ja tarpeesta riippuen liikkua joko kahden tai kolmen akselin suuntaisesti. Tämä siis tarkoittaa, että hissi voi tarvittaessa liikkua pysty- ja vaakasuunnan lisäksi myös syvyysuunnassa. Materiaalihissin koko on myös olennainen osa sopivan hissin valintaa. Jos tiedetään, että järjestelmä keskittyy lähinnä pienkappaletuotantoon, kannattaa järjestelmään valita pienempikokoinen materiaalihissi. Fastemsin tarjoamien materiaalihissien kantokapasiteetti on 700–10 000 kg (Fastems 2019).

Muita merkittäviä tapoja materiaalihallinnan toteuttamiseen ovat teollisuusrobotit ja automaattitrukit. Näiden ratkaisujen etuina perinteiseen materiaalihissiin verrattuna ovat erilaisten layoutien mahdollistaminen sekä kustannustehokkuus. (Bonetto 1988; Shivanand et al. 2006) Kumpikaan näistä ratkaisuista ei vaadi erillistä varastohyllykköä, vaan ne pystyvät toimimaan muuttuvissa ympäristöissä.

Erityisesti automaattitrukit pystyvät tarvittaessa navigoimaan itsenäisesti pitkiäkin matkoja. Automaattitrukkien ideana onkin vapauttaa tuotannon layoutia siten, että laitteistoa voidaan sijoittaa laajemmalle alueelle. Sekä teollisuusrobottien että materiaalihissien suurin rajoite on se, että niiden tarvitsemat kiskot rajoittavat laitteiden liikettä. Automaattitrukkeja käytetään yleensä kevyempien kappaleiden valmistuksessa, koska niiden kantokapasiteetti on suhteellisen alhainen verrattuna muihin ratkaisuihin. (Shivanand et al. 2006)

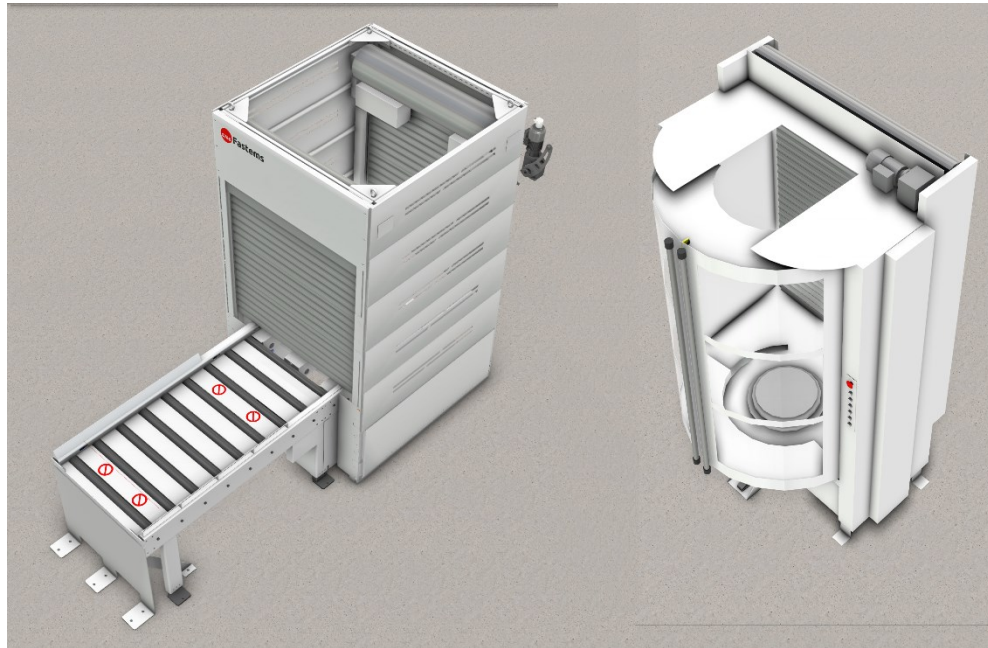
Teollisuusrobotteja voidaan hyödyntää materiaalinhallinnassa kahdella eri tapaa. Robotti voi kulkea materiaalihissin tapaan kiskoilla ja poimia raaka-aineita hyllyvarastosta tai tuotannon layout voidaan toteuttaa siten, että tarvittavat materiaalit ja laitteet sijoitetaan robotin ympärille. Tällöin robotti voi pysyä paikallaan ja silti palvella koko järjestelmää, mikä nopeuttaa sen toimintaa. Kyseisen ratkaisun etuna on kustannustehokkuus, mutta järjestelmän koko on tällöin hyvin rajattu. Koska robotti kykenee tarttumaan monipuolisesti erilaisiin kappaleisiin, ei tällaisessa ratkaisussa välttämättä tarvita paletteja tai erillisiä varastohyllyjä, mikä taas minimoi kustannuksia. (Shivanand et al. 2006)

## **Työasemat**

Tuotannon edistämiseksi tuotantojärjestelmä tarvitsee avukseen työasemia, eli laitteita, joiden avulla tuotantojärjestelmä voi esimerkiksi työstää raaka-aineita tai käsitellä paletteja ja materiaaleja. Työasemat ovat kriittisiä tuotannon toiminnan kannalta, koska ilman niitä tuotantoa ei tapahdu. Työasemiksi luokitellaan esimerkiksi lataus- ja materiaaliasemat, työstö- ja pesukoneet sekä robottisolut. (Shivanand et al. 2006)

Latausaseman tehtävänä on mahdollistaa operaattorin työskentely palettien kanssa. Latausasema on ainoa laite, jonka avulla operaattori voi käsitellä paletteja. Latausasemalla

suoritettavia tehtäviä ovat kiinnittimen asennus ja poisto paletilta, raaka-aineiden kiinnittäminen kiinnittimiin ja valmiiden osien poistaminen kiinnittimiltä. Ilman näitä tehtäviä ei tuotanto pysty toimimaan. Asemien 3D-mallit näkyvät kuvassa 2. Materiaaliasema on



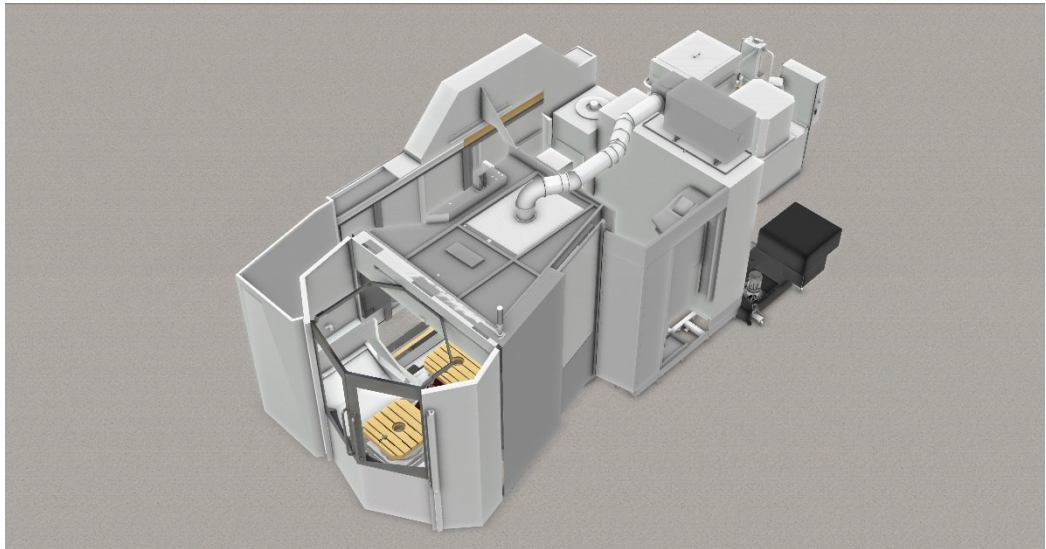
**Kuva 2. Materiaali- ja latausasema**

kuvan vasemmalla puolella ja latausasema oikealla.

Latausaseman koko ja niiden määrä vaihtelee järjestelmän tarpeiden mukaan. Tyypillisesti keskikokoisessa järjestelmässä on 2–5 latausasemaa. Fastems esimerkiksi tarjoaa asiakkailleen kolmea erityyppistä latausasemaa, joiden toiminnallisuus eroaa erityisesti palettien koon ja käsittelymahdollisuuksien kannalta. Tarvittaessa paletti saadaan esimerkiksi käännettyä pystyasennosta vaaka-asentoon käsittelyn helpottamiseksi. (Fastems 2019)

Materiaaliaseman tarkoitus on toimia rajapintana materiaalivaraston ja ulkomaailman välillä. Kaikki materiaaliliikenne järjestelmän sisään tapahtuu materiaaliaseman kautta. Myös materiaaliasemia on erityyppisiä ja ne voidaan valita järjestelmän tarpeiden mukaan. Esimerkiksi suuret aihiot voivat rajoittaa käytettävien materiaaliasemien valikkoa. Myös materiaaliasemien tarve vaihtelee tuotantojärjestelmän tarpeiden mukaan. Tyypillisessä järjestelmässä on materiaaliasema jokaista latausasemaa kohden, koska raaka-aineiden siirtäminen pitkiä matkoja ei ole tehokasta. MMS (Manufacturing Management Software) tuo tarvittavat materiaalit materiaaliasemalle automaattisesti, kun niille on tarvetta. (Fastems 2019)

Joustavaan tuotantojärjestelmään kuuluu yleensä vähintään yksi tai useampi työstökone. Työstökoneiden tehtävänä on muuntaa raaka-aineita valmiiksi osiksi. Koneistuskeskus toimii usein täysin itsenäisesti, jolloin valmistusta voidaan edistää myös miehittämättömänä. Tämä mahdollistaa järjestelmän miehittämättömän käytön esimerkiksi viikonloppuisin, jolloin säästetään työntekijäkustannuksissa. Kuvassa 3 on esitetty työstökoneen 3D-malli. (Shivanand et al. 2006)

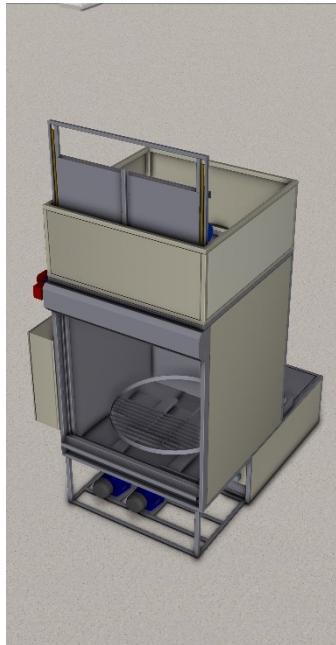


**Kuva 3.** Työstökone

Tyypillisesti joustavissa tuotantojärjestelmissä olevat työstökoneet ovat jyrsviä laitteita. Työstökoneet keskustelevat ohjausjärjestelmän kanssa siitä, että mitä ohjelmia ajetaan ja millainen työkalutilanne työstökoneella on. Työstökone kertoo ohjelman suorituksen jälkeen ohjausjärjestelmälle, että tapahtuiko työstön aikana mitään virheitä sekä työstön kuluneen ajan. Näiden tietojen avulla ohjausjärjestelmä tietää paletin tilan ja osaa ohjata sen oikeaan paikkaan. Ohjausjärjestelmä myös tietää työstökoneen uuden tilan ja osaa ohjata tarvittavat paletit työstettäviksi. (Shivanand et al. 2006)

Työstökoneessa on tyypillisesti myös paletinvaihtaja sekä työkalurevolveri, jotka mahdollistavat nopean tuotannon. Paletinvaihtajan avulla työstökoneelle voidaan tuoda toinen paletti odottamaan, jolloin heti työstöohjelman päätyttyä työstökoneelle on tarjolla uusi työstettävä paletti. Näin pyritään minimoimaan työstökoneen tyhjänä oloa. Työkalurevolverin avulla työstökone voi tarvittaessa itsenäisesti vaihtaa työkaluja. Työkalurevolverin avulla työkalunvaihto tapahtuu nopeasti, eikä aikaa tällöin mene hukkaan.

Työkalujärjestelmien avulla työkaluja voidaan jakaa työstökoneiden kesken. Tällöin jokainen työstökone ei tarvitse omaa versiotaan työkalusta, jolloin säästetään kustannuksissa. Työkalujärjestelmä yhdistää kaikkien työstökoneiden työkalut ja siirtelee niitä automaattisesti tarpeen mukaan. MMS tietää osan valmistukseen tarvittavat työkalut ja lähettää tämän tiedon perusteella käskyjä työkalujärjestelmälle. (Shivanand et al. 2006)



**Kuva 4.** *Pesukone*

Kuvassa 4 näkyy tyypillisen pesukoneen 3D-malli. Pesukoneiden tehtävänä joustavassa tuotantojärjestelmässä on jäysteenpoisto sekä valmistettavien kappaleiden tai aihioden puhdistus. Valmistettavat osat ovat tällöin laadukkaampia ja sisältävät vähemmän virheitä. Ilman jäysteenpoistoa valmistettavat osat eivät välttämättä sovi yhteen kokoonpanossa, jolloin virheen korjaamisesta tulee kallista. Näiden laitteiden avulla jäysteenpoisto ja puhdistus voidaan automatisoida, eikä ihmisten tarvitse tehdä näitä toistuvia ja työläitä operaatioita. Pesukoneet toimivat järjestelmän ohjauksen näkökulmasta hyvin samalla tavalla kuin työstökoneet ja keskustelevat ohjelmien suorituksesta MMS:n kanssa. (Shivanand et al. 2006)

Joustavassa tuotantojärjestelmässä voi myös olla yksi tai useampi robottisolukone. Robottisolussa voidaan suorittaa esimerkiksi jäysteenpoistoa, hitsausta sekä kokoonpanoa. Robotit soveltuvat joustaviin tuotantojärjestelmiin hyvin, koska niiden kappaleenkäsittelymahdollisuudet ovat hyvin laajat, jolloin se pystyy tarttumaan moniin erilaisiin kappaleisiin ja aihioihin. Myös robottisolukoneet ovat järjestelmän näkökulmasta hyvin samanlaisia kuin työstökeskukset ja pesukoneet.

## Tuotannonohjausjärjestelmä

Joustavaan tuotantojärjestelmään kuuluva tuotannonohjausjärjestelmä ja sen toiminta ovat hyvin kriittinen osa tuotantoa. Ilman tuotannonohjausta joustava tuotantojärjestelmä olisi vain kokoelma erilaisia laitteita ilman mitään oikeaa funktiota. Tuotannonohjausjärjestelmän tarkoituksena on yhdistää tuotantojärjestelmän laitteet ja mahdollistaa niiden yhteistyö. (Shivanand et al. 2006)

Fastemsin kehittämä MMS on yksi esimerkki tuotannonohjausjärjestelmästä. MMS:n tavoitteena on yhdistää kaikki tuotannon eri osa-alueet yhdeksi kokonaisuudeksi. Fastemsin mukaan MMS huomioi tuotannonohjauksessa osien perustietoihin, työstöohjelmiin, työkaluihin, paletteihin ja kiinnittimiin sekä raaka-aineisiin ja tilauksiin liittyvät asiat. MMS yhdistää nämä tiedot ja päättelee niiden perusteella järjestelmälle optimaalisen työnkulun sekä tarvittavat työkalut ja raaka-aineet. (Fastems 2019)

Rajapintana MMS:n ja tuotantojärjestelmän käyttäjien välillä toimii MMS UI. MMS UI on selainpohjainen käyttöliittymä tuotannonohjausjärjestelmälle. Käyttöliittymän avulla käyttäjät voivat tutkia ja muokata tuotannonohjausjärjestelmän sekä sen laitteiden ja palettien tietoja. Käyttöliittymää voidaan käyttää lataus- ja purkuasemien yhteydessä olevien Touch OP -laitteiden tai tuotantojärjestelmän verkkoon yhdistettyjen normaalien tietokoneiden avulla. MMS:n käyttöliittymän tarkempia toimintoja esitellään alaluvussa 4.2.

## 2.2 Joustavuus ja sen hyödyt

Joustavien tuotantojärjestelmien merkittävin etu on niiden kyky reagoida järjestelmän ympäristön muutoksiin. Tätä kykyä kutsutaan joustavuudeksi, joka voidaan jakaa kolmeen eri tasoon: perus-, järjestelmä- ja kokonaisuusjoustavuus. Olennaista joustavuudessa on kyky reagoida muutoksiin nopeasti, helposti ja kustannustehokkaasti. (Shivanand et al. 2006)

Perusjoustavuudella tarkoitetaan järjestelmän laitteisiin ja niiden ominaisuuksiin liittyvää joustavuutta ja sen alle voidaan luokitella kone-, materiaalinhallinta- sekä toimintojoustavuus. Kone- ja materiaalinhallintajoustavuudet kuvaavat laitteiden kykyä valmistaa ja siirtää erityyppisiä osia. Toimintojen joustavuus puolestaan kuvaa järjestelmän kykyä valmistaa osia erilaisilla tavoilla. (De Toni & Tonchia 1998; Shivanand et al. 2006) Kaikki perusjoustavuudet ovat hyvin olennaisia joustavan tuotantojärjestelmän toiminnan kannalta ja voidaankin ajatella, että koko järjestelmän ydintoiminta perustuu niihin.

Järjestelmäjoustavuudella kuvataan enemmänkin järjestelmän yleisiin ominaisuuksiin liittyviä asioita. Järjestelmäjoustavuuteen sisältyy tuotantomäärän, laajennettavuuden,

reitittämisen, prosessin ja tuoteskaalan joustavuus. Tuotantomäärään liittyvä joustavuus kuvaa, kuinka vaihtelevalla tuotantomäärällä nykyisiä kappaleita voidaan kannattavasti valmistaa. Laajennettavuus puolestaan kuvaa kykyä rakentaa ja laajentaa kyseistä tuotantojärjestelmää. Reitittämisen joustavuus kertoo, kuinka monella eri tavalla osaa voidaan valmistaa. Tähän vaikuttaa esimerkiksi järjestelmässä olevien latausasemien tai työstökoneiden määrä. Prosessi- ja tuoteskaalajoustavuus ovat hyvin samanlaisia, koska molemmat mittaavat mahdollisesti valmistettavien tuotteiden skaalaa. Tuoteskaalajoustavuus sallii pienet muutokset tuotteen vaihtuessa, mutta prosessijoustavuus ei salli kyseisiä muutoksia ollenkaan. (Shivanand et al. 2006)

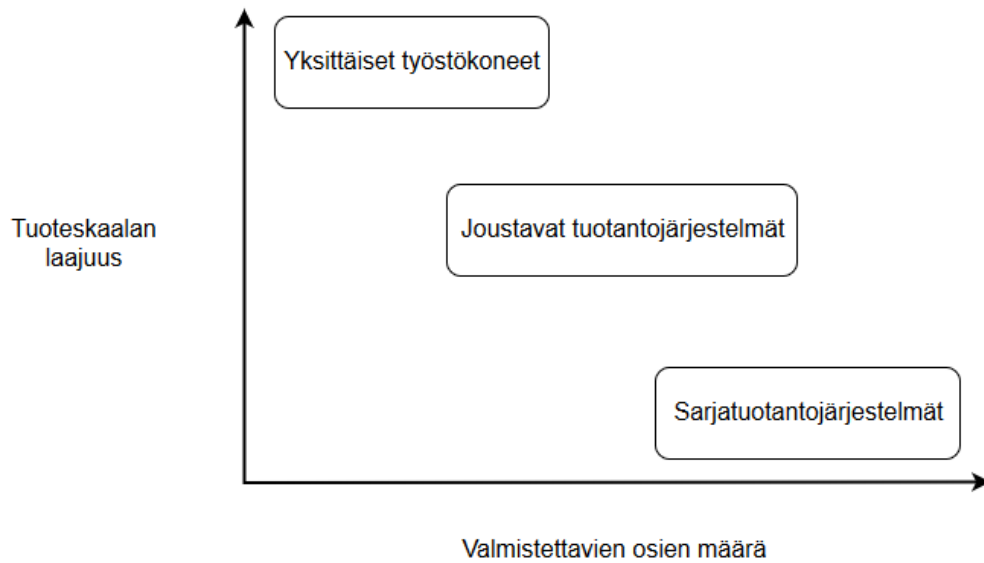
Viimeinen joustavuuden luokka on kokonaisuusjoustavuus, joka kokoaa järjestelmän eri joustavuudet yhdeksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuusjoustavuus on järjestelmän joustavuutta ylemmältä tasolta katsottuna. Siihen kuuluu tuotannon-, markkinoiden ja ohjauksen joustavuudet. Tuotannonjoustavuus kuvaa järjestelmän kykyä valmistaa erilaisia osia ilman merkittäviä rahallisia investointeja. Tämä liittyy suoraan seuraavaksi mainittavaan markkinoiden joustavuuteen, joka puolestaan kertoo kyvystä mukautua muuttuvien markkinoiden tarpeisiin. Markkinoiden seuraaminen on olennaista, koska tuotantojärjestelmät vaativat usein suuria investointeja, jolloin on erityisen tärkeää, että niitä voidaan hyödyntää mahdollisimman pitkään ja tehokkaasti. Ohjauksen joustavuus on myös olennainen osa joustavaa tuotantojärjestelmää, koska se kuvaa järjestelmän kykyä toimia ilman ulkoista interventiota. Tämän avulla pystytään vähentämään tarvittavien työntekijöiden määrää, jolloin saavutetaan merkittäviä säästöjä henkilöstökustannuksissa. (Beach et al. 2000; Shivanand et al. 2006)

Joustava tuotantojärjestelmä pyrkii hyödyntämään kaikkia edellä mainittuja ominaisuuksia, jolloin sen suurimpina hyötyinä voidaan pitää erittäin nopeita asetusaikoja, alennettuja henkilöstökustannuksia sekä automatisaation tuomaa parempaa ja tasaisempaa laatua. Toisaalta joustavuuteen liittyvä tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus pienentää inventaarion ja keskeneräisen tuotannon kokoa, joka pienentää valmistukseen sitoutuneen pääoman määrää. Säästöjä saadaan lisäksi myös vähentyneiden virheiden, hukkatuotannon ja korjaustöiden takia. (Shivanand et al. 2006)

Joustavien tuotantojärjestelmien huonoina puolina voidaan pitää suuria investointikustannuksia ja tuotannon tehokkaaseen toimintaan tarvittavaa suunnittelutyötä. Investoinnit sekä tarvittava suunnittelutyö sitovat suuren määrän pääomaa ja aikaa ennen varsinaisen tuotannon aloittamista, joka kasvattaa tuotantojärjestelmän hankintaan liittyvää riskiä. Näiden lisäksi heikkouksina voidaan pitää myös eri laitteiden yhteensopivuuden



epävarmuutta ja rajallisia mahdollisuuksia tehdä suuria muutoksia valmistettavaan tuoteskaalaan. (Shivanand et al. 2006)



**Kuva 5.** Tuotantojärjestelmien vahvuudet

Edellä mainittujen ominaisuuksien takia joustavat tuotantojärjestelmät sopivat kuvan 5 mukaiselle alueelle. Joustavat järjestelmät siis soveltuvat parhaiten sovelluksiin, jossa valmistettavien tuotteiden skaala sekä määrä ovat keskitasoa. Joustava tuotantojärjestelmä ei pysty kilpailemaan sarja- tai yksittäiskappaletuotannossa niihin erikoistuneiden järjestelmien kanssa, mutta hallitsee ääripäiden välissä tapahtuvan valmistuksen erinomaisesti. (Shivanand et al. 2006)

Fastemsin mukaan heidän tuotantojärjestelmiään hyödynnetään erityisesti ilmailu- ja autoteollisuudessa. Erityisesti ilmailuteollisuudessa laadun sekä sen tarkkailun tärkeys korostuu, joka on yksi joustavien tuotantojärjestelmien vahvuus. Muita joustavien järjestelmien hyödyntäjiä ovat pienet ja keskisuuret konepajat, joiden valmistusmäärät ja tuoteskaala vastaavat usein joustavien järjestelmien tarjoamia ominaisuuksia. (Fastems 2019)



## 3. VIRTUAALIMALLIT

Tietokoneavusteisten simulaatioiden käyttö on kasvanut merkittävästi neljännen teollisen vallankumouksen myötä. Simulaation määritelmänä voidaan pitää sellaista todellisuuden jäljittelemistä, jonka avulla voidaan esimerkiksi suunnitella, ennustaa ja tarkkailla jonkin reaalimaailman järjestelmän toimintaa. Simulaatiomallit ja niiden tarkkuus paranevat jatkuvasti saatavilla olevan laskentatehon kasvaessa.

### 3.1 Simulaatiomallit

Simulaatiomallin tarkoituksena on aina vastata johonkin ongelmaan. Simulointia voidaan pitää ongelmanratkaisuun käytettävänä työkaluna. Simulaatiomallin pohjana toimii useimmiten matemaattinen malli. Simulaatiomallin tarkoituksena on mahdollistaa matemaattisen mallin käyttö tietokoneella. Prosessi simulaatiomallin luomiseen on usein seuraavanlainen.

1. Ongelman muotoileminen
2. Matemaattisen mallin luominen
3. Tietokonemallin luominen
4. Mallin toiminnan tarkastaminen
5. Kokeiden suunnittelu
6. Kokeiden ajaminen ja tulosten analysointi

Simulaatiomallit voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin malleihin. Ero näiden kahden mallin välillä on se, ettei aika vaikuta staattisen mallin toimintaan. Dynaaminen malli puolestaan huomio ajan kulun, jonka ansiosta sillä voidaan simuloida monimutkaisempia ongelmia. Dynaamiset mallit jaetaan vielä diskreetteihin ja jatkuviin malleihin. Diskreetit mallit etenevät tietyin aika-askelin, mutta jatkuvilla malleilla näitä askelia ei ole. Jatkuvilla malleilla saadaan tietyissä skenaarioissa tarkempia tuloksia, mutta ne vaativat usein enemmän laskentatehoa. (Mourtzis et al. 2014; Kikolski 2017)

### 3.2 Hyödyt ja käyttö

Joustavien tuotantojärjestelmien yhteydessä simuloinnilla on suuri rooli. Simulointia hyödynnetään erityisesti järjestelmän ja sen tarpeiden kartoittamisessa sekä myöhemmin tuotannonsuunnittelun ja ohjauksen tukena.

Simuloinnin suurimpina etuina voidaan pitää mahdollisuutta saada etukäteistietoa jonkin ratkaisun toimivuudesta, uusien prototyyppien nopeaa testaamista, sekä tulevaisuuden muutosten ennustamista. Mallien avulla voidaan myös ennustaa jonkin tuotteen elinkaarta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää erityisesti tuotekehityksessä, jossa etukäteistieto tuotteen toimivuudesta on hyvin arvokasta. Myös tuotantojärjestelmää hankittaessa on hyödyllistä tutkia etukäteen sen tarpeita ja testata potentiaalisten ratkaisujen toimivuutta. Näin vältetään tilanne, jossa tuotantojärjestelmä otetaan käyttöön ja huomataan, etteivät sen ominaisuudet vastaa oikeita tarpeita. (Mourtzis et al. 2014; Kikolski 2017)

Simulaatiomallien huonoina puolina voidaan pitää niiden tarkkuuden epävarmuutta, mallin rakentamisen kustannuksia sekä sitä, että lähes jokainen ongelma on uniikki ja vaatii oman mallinsa. Mitään yleistä mallia, joka tuottaa ratkaisun jokaiseen ongelmaan ei siis ole. Myös erilaiset ympäristön muutokset, joita ei välttämättä pystytä huomioimaan mallia luodessa voivat vaikuttaa mallin tarjoamien tulosten tarkkuuteen. Simulaatiomallin luominen on myös usein vaikea ja pitkä prosessi, johon sitoutuu paljon resursseja. (Kikolski 2017)

Tunnetuimpia simulaatiomallien sovelluksia ja käyttökohteita ovat muun muassa tietokoneavusteinen suunnittelu, erilaiset toiminnanohjausjärjestelmät, tuotteen elinkaaren ja datan analysointi ja virtuaalitodellisuus. Merkittävä osuus kaikesta tuotantoon liittyvästä toiminnasta koostuu näiden työkalujen käytöstä ja kehityksestä. (Mourtzis et al. 2014)

Virtuaali- ja simulaatiomalleja voidaan myös hyödyntää opetuksessa ja koulutuksessa. Virtuaalijärjestelmän avulla koulutus voidaan tehdä kustannustehokkaasti ja turvallisesti, koska mitään oikeita laitteita ei tarvita. Koulutus voidaan myös täten aloittaa jo ennen järjestelmän toimitusta, jolloin sen käyttöönotto voi tapahtua nopeasti. Työntekijät saavat suuren hyödyn esimerkiksi käyttöliittymän opettelusta etukäteen, jolloin he voivat aloittaa työt heti järjestelmän käyttöönoton jälkeen. Virtuaalijärjestelmän opetuskäyttöön tutustutaan tarkemmin tämän työn CASE-osiossa.

Merkittävimpiä tulevaisuuden teknologioita ovat digitaaliset kaksoset sekä erilaiset virtuaalitodellisuudet. Molempien teknologioiden kehitys on kiihtynyt huomattavasti digitalisoitumisen myötä ja erityisesti digitaalisten kaksosten kehitys on alkanut kiinnostamaan

monia tuotantoalan yrityksiä, koska yritykset pystyvät hyödyntämään niitä tuotekehityksessään. Digitaalinen kaksonen on erään määritelmän mukaan kattava virtuaalinen kuvaus jostakin tuotteesta tai järjestelmästä, joka sisältää lähes kaiken mahdollisen tiedon, jota voidaan pitää hyödyllisenä sen elinkaaren aikana. (Schleich et al. 2017)

## 4. CASE: VIRTUAL FMS

Tässä luvussa perehdytään Tampereen yliopiston hankkimaan virtuaaliseen tuotantojärjestelmään sekä sen käyttöön opetuksessa nyt ja tulevaisuudessa. Tuotantoautomaatioon erikoistunut Fastems toimitti järjestelmän silloiselle Tampereen teknilliselle yliopistolle kesäkuussa 2018, ja järjestelmän opetuskäyttöä kokeiltiin ensimmäistä kertaa kevään 2019 aikana kurssilla MEI-50400 Johdanto tuotantotekniikkaan. Kyseessä on ensimmäinen puhtaasti opetus- ja tutkimuskäyttöön toimitettu järjestelmä. Opetuksen kannalta päätarkoituksena on havainnollistaa opiskelijoille joustavien tuotantojärjestelmien toimintaa, ominaisuuksia ja teoriaa. Järjestelmän opetuskäytön suunnittelussa ja konfiguroimisessa tehtiin yhteistyötä Fastemsin henkilöstön kanssa.

### 4.1 Ympäristön esittely

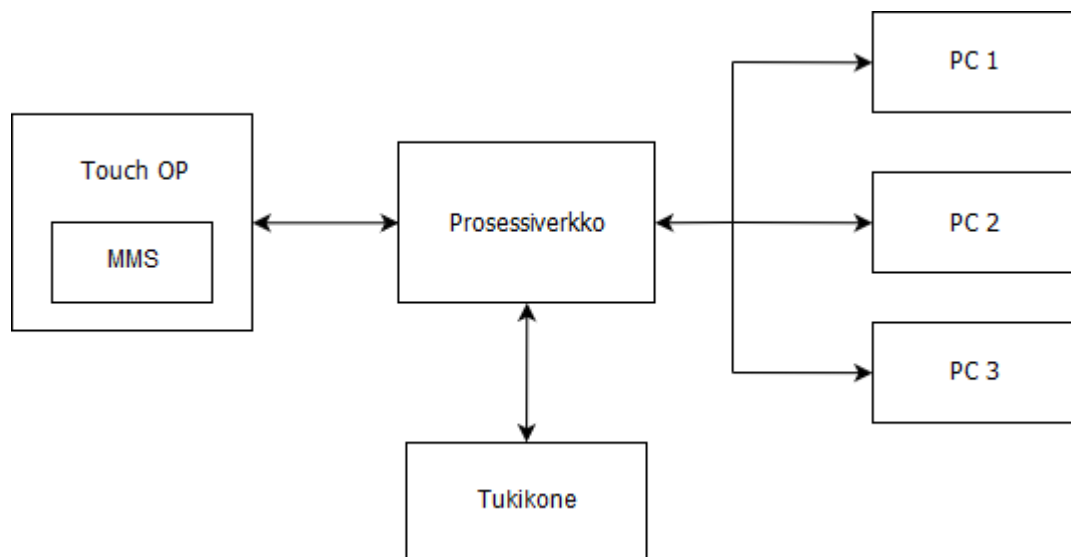
Harjoitusympäristö pyrkii jäljittelemään oikeaa tuotantojärjestelmää ja sen toimintaa, jotta opiskelijat saavat mahdollisimman hyvän kuvan oikean järjestelmän ominaispiirteistä. Ympäristö koostuu kolmesta eri järjestelmästä, joista yksi on fyysinen ja kaksi virtuaalisia. Pääsääntöinen virtuaalijärjestelmä ja sen palvelut toimivat Fastemsin toimitaman Touch OP:n avulla, ja sen tueksi tehty virtuaalinen Visual Components -malli toimii omalla tietokoneellaan. Virtuaaliset järjestelmät ja niiden tietokoneet sijaitsevat yliopiston mikroluokassa, ja fyysinen Training Center sijaitsee Fastemsin tiloissa Lahdesjärvellä. Tämä työ käsittelee pääasiassa Fastemsin toimittaman virtuaalijärjestelmän sovelluksia ja käyttöä.



**Kuva 6.** Touch OP yliopiston mikroluokassa

Virtuaaliympäristön sydämenä toimii kuvassa 6 oleva Touch OP, ja kaikki virtuaalijärjestelmän laitteet sijaitsevat sen kanssa samassa mikroluokassa. Virtuaaliympäristön verkkoon on liitetty Touch OP ja kolme normaalia tietokonetta. Nämä tietokoneet ovat harjoitusten näkökulmasta täysin samanlaisia toiminnallisuudeltaan kuin itse Touch OP ja niiden lisäksi verkkoon on yhdistetty tukikone, jonka tarkoituksena ei ole simuloida Touch OP -laitetta, vaan tarjota tukitoimintoja harjoitusten avuksi. Tukikoneen tehtäviä ovat muun muassa Visual Components -mallin ajaminen sekä opettajan pääsyn mahdollistaminen järjestelmään ilman, että se häiritsee opiskelijoiden toimintaa.

Virtuaaliympäristön palveluita ajetaan Fastemsin Touch OP -laitteen avulla, ja sen sisältämä palvelin tarjoaa järjestelmän käyttämän prosessiverkon, jonka avulla Touch OP ja muut järjestelmän tietokoneet kommunikoivat yhdessä tuotannonohjausjärjestelmän kanssa. Kuvassa 7 on havainnollistettu kyseistä järjestelyä.

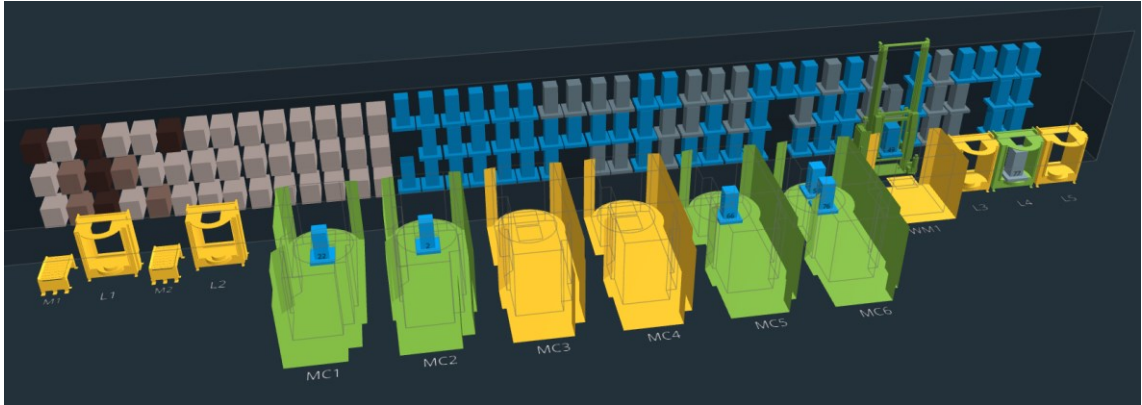


**Kuva 7.** Järjestelmän prosessiverkko

Kuvassa 7 näkyvät PC1 – PC3 ovat aiemmin mainittuja normaaleja tietokoneita, jotka simuloivat Touch OP -laitetta. MMS puolestaan tarkoittaa Fastemsin kehittämää tuotannonohjausjärjestelmää.

Virtuaaliympäristön varsinainen tuotantojärjestelmä koostuu kuudesta koneistuskeskuksesta, yhdestä pesukoneesta, viidestä latausasemasta, kahdesta materiaaliasemasta, hissivarastosta ja materiaalihissistä. Kyseisten laitteiden toiminta on harjoitusten kannalta täysin samanlainen kuin aiemmin teoriaosiossa kuvattujen laitteiden. Järjestelmän hissivarasto sisältää 84 konepalettia ja 42 materiaalipalettia. Tuotantojärjestelmä ohjataan MMS6-ohjausjärjestelmällä.

Kuvassa 8 näkyy virtuaalijärjestelmän 3D-malli ja sen eri laitteet sekä paletit. Työstökeskukset on nimetty kuvassa MC 1 – MC6, latausasemat L1 – L5 ja materiaaliasemat M1 sekä M2. Materiaalipaletit ovat kuvassa hissivaraston vasemmalla puolella ja konepaletit oikealla puolella.



**Kuva 8.** Virtuaalijärjestelmän 3D-malli

Järjestelmän kuusi koneistuskeskusta on jaettu kahteen ryhmään siten, että koneistuskeskukset 1 – 3 ovat Siemens-merkkisiä ja koneistuskeskukset 4 – 6 ovat Fanuc-merkkisiä. Päätös koneistuskeskusten jaolle tehtiin, koska jaon avulla järjestelmään saadaan monipuolisuutta sekä sen avulla pystytään helposti kuormittamaan koneistuskeskuksia ja järjestelmää epäsymmetrisesti. Epäsymmetrisellä kuormituksella tarkoitetaan laitteiden kuormittamista siten, että osalla laitteista käyttöaste on hyvin korkea, kun taas osalla se on hyvin vähäinen. Esimerkiksi jos järjestelmällä valmistetaan suuri määrä osia, joita voidaan työstää vain Fanuc-merkkisillä työstökoneilla, ja vain vähän muita osia, on tällöin Fanuc-merkkisten työstökoneiden käyttöaste huomattavasti muita korkeampi. Tämän avulla opiskelijoille voidaan helposti havainnollistaa järjestelmän ja tuotannon mahdollisia pullonkauloja erilaisissa tilanteissa. Myös konepaletit on jaettu siten, että puolet konepaletteista ovat Fanuc-merkkisten koneistuskeskusten käytössä ja loput on varattu Siemens-merkkisten koneistuskeskusten käyttöön. Järjestelmän latausasemat ja pesukone kuitenkin hyväksyvät kaikki konepaletit.

Virtuaalijärjestelmään kirjautumiseen tarvitaan käyttäjätunnukset. Näitä tunnuksia on kolmea eri tyyppiä: lokaalit tunnukset, joita voidaan käyttää vain prosessiverkossa olevilla laitteilla, opiskelijoille tarkoitetut toimistolisenssit ja henkilökunnalle tarkoitetut toimistolisenssit. Toimistolisenssit mahdollistavat järjestelmään kirjautumisen etänä ja ainoana vaatimuksena on se, että käyttäjä on yhdistettynä yliopiston intraverkkoon. Tämä onnistuu jokaisesta yliopiston mikroluokasta sekä VPN-yhteyden avulla mistä tahansa.

Opiskelijoiden itsenäisiin harjoituksiin tarkoitettuja toimistolisenssejä on järjestelmässä 15 kappaletta. Näille tunnuksille on asetettu opetuskäyttöä varten luotu Student-rooli,

jolla on rajatut oikeudet järjestelmän käyttöön. Opiskelijatunnuksilla ei esimerkiksi ole oikeuksia poistaa tai muokata järjestelmässä olevia osia, kiinnittimiä tai työstöohjelmia. Nämä rajoitukset on toteutettu siksi, ettei opiskelijat vahingossa tai tahallaan pysty muokkaamaan järjestelmän toiminnan kannalta kriittisiä toimintoja ja voivat täten rauhassa keskittyä järjestelmän ja sen käytön opetteluun. Opiskelijoille tarkoitettujen toimistolisenssien lisäksi myös henkilökunnan käyttöön on luotu kaksi lisenssiä. Näiden lisenssien tarkoituksena on mahdollistaa järjestelmän tarkkailu sekä esimerkiksi osien ja kiinnittimien luominen tarvittaessa etänä. Henkilökunnan tunnuksilla on täysi pääsy kaikkiin järjestelmän toimintoihin.

Toimistolisenssien rajoituksena on, että jokaista tunnusta voi käyttää kerrallaan vain yksi käyttäjä ja käyttäjän yrittäessä kirjautua käytössä olevalle tunnukselle aiempi käyttäjä kirjataan ulos järjestelmästä. Tämä ominaisuus voi aiheuttaa ongelmia opiskelijoiden tehdessä itsenäisiä harjoituksia, joten tunnuksille tehtiin Moodle-alustalla toimiva varauskalenteri. Kalenterin avulla on selvää, mitkä tunnukset ovat käytössä mihinkin aikaan ja kuka niitä käyttää.

Lokaalien tunnuksien tarkoituksena on olla käytössä ohjatuissa harjoituksissa. Lokaalilla tunnuksella voi käytännössä olla rajaton määrä kirjautuneita yhtä aikaa, joka mahdollistaa harjoitusten suorittamisen ohjatusti ja yhtäaikaaisesti. Ainoastaan lokaaleilla tunnuksilla on pääsyoikeus järjestelmän lataus- ja materiaaliasemien käyttämiseen. Tämä rajoitus pohjautuu oikean järjestelmän turvallisuusratkaisuihin, jossa lataus- ja materiaaliasemia käytettäessä käyttäjällä tulee aina olla suora näköyhteys käytettäville asemille.

Kuvassa 7 esitellyt prosessiverkon tietokoneet sekä Touch OP ovat jaettu siten, että harjoituksissa Touch OP ohjaa lataus- ja materiaaliasemia 1, PC1 ohjaa lataus- ja materiaaliasemia 2, PC2 ohjaa latausasemaa 3 ja PC3 ohjaa latausasemaa 4. Tämä jako mahdollistaa ohjattujen harjoitusten toteuttamisen neljällä ryhmällä yhtäaikaaisesti.

Mikroluokan normaalien tietokoneiden toimintaa on rajoitettu siten, että ne voivat käyttää ainoastaan edellä mainittuja asemia, mutta Touch OP:n avulla käyttäjä pääsee käsiksi jokaiseen järjestelmän asemaan ja laitteeseen. Tämä ratkaisu on toteutettu siksi, että jos järjestelmää käytetään ilman muita tietokoneita, esimerkiksi harjoitusten ulkopuolella, on sen käyttäminen huomattavasti helpompaa ja nopeampaa. Lisäksi ainoastaan Touch OP -laitteella on pääsy järjestelmän pääkäyttäjätilille, jonka avulla käyttäjä pystyy helposti muokkaamaan järjestelmän, koneiden ja palettien tilaa. Pääkäyttäjätilin avulla voidaan esimerkiksi nopeasti tyhjentää opiskelijoiden luomat kiinnittimet, osat ja tilaukset harjoituksen päätteeksi.

Vaikka järjestelmä pyrkii jäljittelemään oikeaa tuotantojärjestelmää, on järjestelmässä kuitenkin muutamia eroavaisuuksia oikeaan järjestelmään verrattuna lähinnä käytännön järjestelyiden takia. Eroavaisuudet syntyvät siksi, että järjestelmällä ei ole fyysisiä koneistuskeskuksia, latausasemia tai materiaalihissiä. Opiskelijoille huomattavin ero syntyy kuitenkin siitä, että järjestelmän taustalla ei ole minkäänlaista oikeaa yritystä, joka tuottaisi esimerkiksi tilauslomakkeet tai suunnittelisi kiinnittimet ja osat. Tästä syystä opiskelijat ainakin toistaiseksi valmistavat täysin kuvitteellisia osia ja käyttävät sellaisia kiinnittimiä, joita ei ole fyysisesti olemassa. Tämä voi vaikeuttaa opiskelijoiden ymmärtämistä ja asioiden hahmottamista, kun siirrytään virtuaalijärjestelmästä reaali maailmaan.

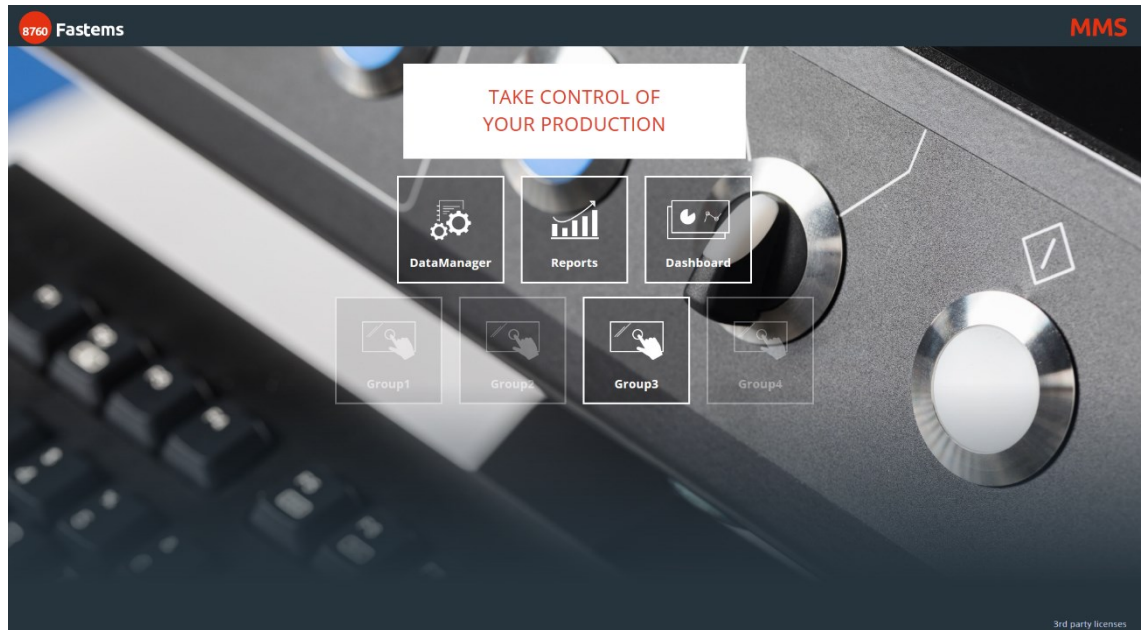
Järjestelmän muita rajoitteita ovat muun muassa koneistuskeskusten työkalut, joilla on rajaton elinikä, sekä se, että järjestelmä ei huomioi työstöohjelmien sisältöä. Koneistuksen lopputulokseen ei siis vaikuta lainkaan työstöohjelman sisältö. Molemmat näistä rajoituksista pohjautuvat siihen, että järjestelmä on täysin virtuaalinen, eikä täten valmista fyysisiä osia tai käytä fyysisiä työstökoneita. Näiden huomioiden lisäksi koneistusaikoja on lyhennetty ja hissin nopeutta on kasvatettu epärealistisiin arvoihin ajan säästämiseksi harjoituksissa.

## 4.2 Järjestelmän käyttöliittymä

Tässä osiossa esitellään virtuaalijärjestelmän käyttämiseen tarvittava käyttöliittymä, sen ominaisuudet ja eri näkymät. Käyttöliittymä on toteutettu web-pohjaisena ja sitä pystytään käyttämään tietokoneilla sekä mobiililaitteilla. Virallisesti Fastems tukee ainoastaan Google Chrome -selainta, mutta yliopiston rajoitteiden takia mikroluokan tietokoneilla käytetään Firefox-selainta. Yliopiston, sekä Training Centerin Touch OP -laitteilla käytetään kuitenkin silti Google Chrome -selainta. Virtuaalijärjestelmän käyttöliittymää voidaan käyttää prosessiverkkoon liitetyillä tietokoneilla tai etäyhteydellä toimivilla toimistolisensseillä. Kaikki järjestelmän peruskäyttöön ja toimintaan liittyvät ominaisuudet löytyvät käyttöliittymästä.

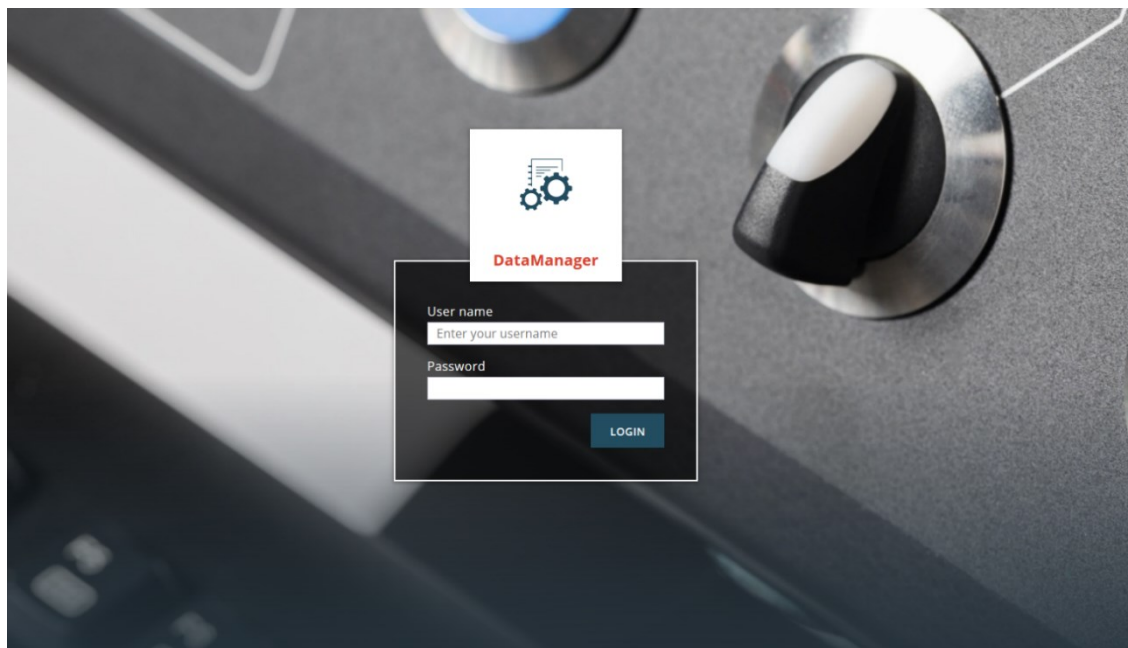
Käyttöliittymä voidaan jakaa neljään eri päänäkökymään: DataManager, Reports, Dashboard ja Groups. Groups näkymä on ainoastaan saatavilla prosessiverkossa olevissa laitteissa, koska sen avulla käyttäjä pystyy ohjaamaan esimerkiksi latausasemien tai hissin toimintaa, joka voi väärinkäytettynä vaarantaa työntekijöiden turvallisuuden. Päänäkymiin pääsyä kontrolloidaan eri käyttäjärooleille asetetuilla oikeuksilla. Käyttäjäroolin asetuksista voidaan määrittää, mihin päänäkökymiin tai ominaisuuksiin kyseisellä tilillä on pääsy. Kurssin harjoituksia varten luodulla Student-roolilla on hyvin rajattu pääsy järjestelmän käyttöön. Roolilta on estetty esimerkiksi osien ja tilausten poistaminen järjestelmästä.





**Kuva 9.** Käyttöliittymän etusivu

Kuvassa 9 näkyvältä käyttöliittymän etusivulta käyttäjä voi valita mihin päänäkökseen hän haluaa siirtyä. Kaikki valittavissa olevat vaihtoehdot ovat esitettynä tässä näkymässä. Näkymät, joihin käyttäjällä ei ole pääsyä ovat harmaalla, eikä niitä voi valita.



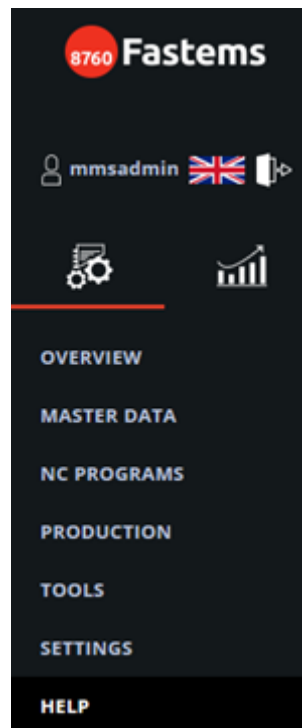
**Kuva 10.** Kirjautumisnäkymä

Käyttäjän siirtyessä haluamaansa päänäkökseen häntä pyydetään kirjautumaan järjestelmään. Kirjautumisnäkymä on esitettynä kuvassa 10, johon käyttäjän tulee syöttää käyttäjätunnuksensa ja salasananansa. Kirjautumisen onnistuttua käyttäjä siirretään valitun päänäkökseen etusivulle. Virhetilanteessa käyttäjää pyydetään yrittämään uudelleen.

Group-näkymiin on mahdollista kirjautua vierailijatunnuksella, joka ei tarvitse käyttäjätunnusta tai salasanaa, mutta jonka oikeudet ovat hyvin rajoitetut.

## DataManager

DataManager-näkymän tarkoituksena on olla yrityksen toimihenkilöiden käytettävissä. Näkymän avulla järjestelmään voidaan tuoda perustietoja uusista osista, raaka-aineista tai kiinnittimistä. Myös kaikki järjestelmän työkalut ja työstöohjelmat ovat näkyvillä DataManagerissa. DataManagerin kautta on myös mahdollista hallita järjestelmän tilauksia ja aikatauluja. Kuvassa 11 on esiteltynä DataManagerin eri alinäkymät.



**Kuva 11.** DataManagerin eri alinäkymät

DataManager on jaettu seitsemään alinäkymään. Overview-näkymässä käyttäjä voi tarkastella järjestelmän yleistilaa, palettien sekä osien sijaintia ja tilannetta sekä järjestelmän 3D-mallia. Näkymän avulla käyttäjä saa nopeasti hyvän yleiskuvan järjestelmän tämänhetkisestä tilanteesta. Master Data -näkyvä puolestaan tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden luoda, muokata tai poistaa kiinnittimiä, osia tai raaka-aineita. NC Programs -näkyvän avulla käyttäjä voi muokata, lisätä tai poistaa järjestelmässä olevia työstörobotti- tai pesuohjelmia.

Production-näkymä kertoo käyttäjälle perustietoja tuotannon etenemisestä ja sen aika-  
tauluista. Käyttäjä voi myös luoda, muokata tai poistaa tilauksia järjestelmästä tämän  
näkömön avulla. Kuva 12 havainnollistaa Production-näkömön tarjoamia tietoja.

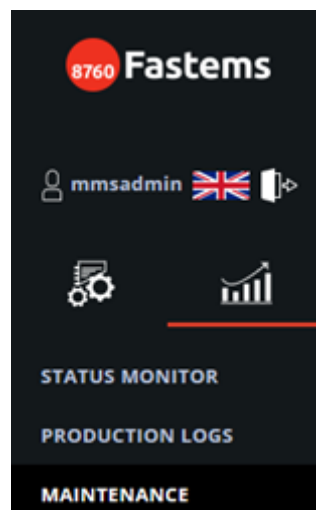
Order▼	Part	Qty	R	W	S	Progress	Start date	Due date	Estimate	CR
7200	Impeller	125	0	0	0	<div></div>	01/04/2019	12/04/2019 23:59	Calculating...	20
7000	Valve Body	135	0	0	0	<div></div>	01/04/2019	23/04/2019 23:59	Calculating...	3.7
6600	Valve Body	225	165	16	0	<div></div>	24/03/2019	11/04/2019 23:59	Calculating...	3.6
6500	Suspension Arm	225	177	0	0	<div></div>	20/03/2019	25/04/2019 23:59	Calculating...	86
6400	Impeller	225	199	23	0	<div></div>	20/03/2019	07/04/2019 23:59	Calculating...	49
✓ 6300	Valve Body	125	125	0	0	<div></div>	20/03/2019	■ 28/03/2019 23:59		-
6200	Spindle Housing	225	0	10	0	<div></div>	20/03/2019	16/04/2019 22:59	Calculating...	36
6100	Crankshaft	550	516	18	0	<div></div>	20/03/2019	05/04/2019 22:59	Calculating...	15
✓ 6000	Spindle Housing	115	115	0	0	<div></div>	10/03/2019	■ 17/03/2019 23:59		-
✓ 5900	Crankshaft	750	750	0	0	<div></div>	10/03/2019	■ 24/03/2019 23:59		-
✓ 5800	Impeller	445	445	0	0	<div></div>	05/03/2019	■ 13/03/2019 23:59		-

**Kuva 12. Production alinäköm**

Työkaluista ja niiden tilasta käyttäjä saa halutessa tietoja Tools-näkömstä. Kaikkien jär-  
jestelmässä olevien työkalujen perustiedot, sijainti, määrä ja elinikä löytyvät tästä näky-  
mästä. Kahden viimeisen DataManagerin alinäkömön avulla käyttäjä voi muokata järjes-  
telmän asetuksia, kuten roolien oikeuksia tai tuotannon poikkeuspäiviä sekä lukea jär-  
jestelmään lisättyjä ohjekirjoja.

## Reports

Reports-päänäkömön avulla käyttäjä saa nopeasti tietoa järjestelmän kuormituksesta ja  
mahdollisista virhetiloista. Näköm sisältää kolme alinäkömää, jotka näkyvät kuvassa 13.



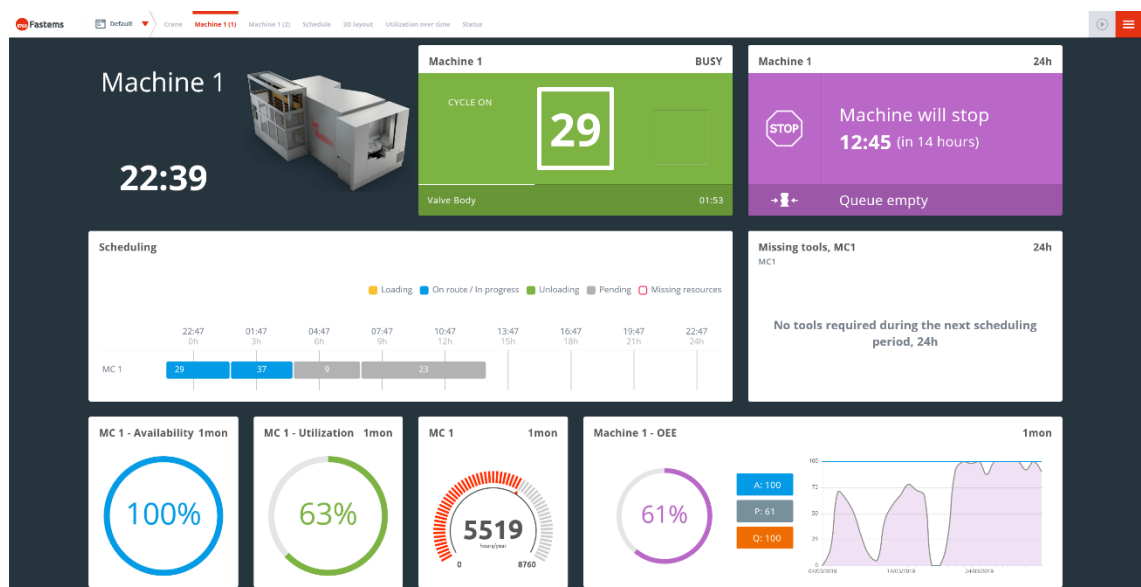
**Kuva 13. Reports-näkömön alinäkömät**

Status Monitor -näkömön avulla käyttäjä näkee kuvaajia ja tilastotietoja tuotannon suori-  
tuskyvystä ja kuormituksesta. Käyttäjä voi tämän alinäkömön avulla tarkastella esimer-

kiksi tietyn laitteen käyttöastetta tai tilaa haluamallaan aikavälillä. Production Logs -näkyvä puolestaan kertoo käyttäjälle yksityiskohtaisesti jokaisesta tuotannon tapahtumasta. Alinäköymästä käyttäjä voi tarkastella esimerkiksi työstöjen valmistumisaikoja ja virhetilanteiden tapahtumisaikoja. Maintenance-näkyvä kertoo käyttäjälle järjestelmän tämänhetkistä virhetiloista sekä tarjoaa tilastotietoja materiaalihissin liikkeistä. Alinäköymän avulla nähdään esimerkiksi materiaalihissin kulkema matka jokaisen akselin suhteen.

## Dashboard

Käyttöliittymän kolmas päänäkyvä on Dashboard-näkyvä. Dashboardit ovat työkaluja, joiden avulla voidaan välittää tietoa järjestelmän tilasta tai suorituskyvystä. Näköymän avulla käyttäjä voi luoda uusia Dashboardeja sekä muokata tai katsella jo luotuja Dashboardeja. Kuvassa 14 on havainnollistettu Dashboardin toimintaa.

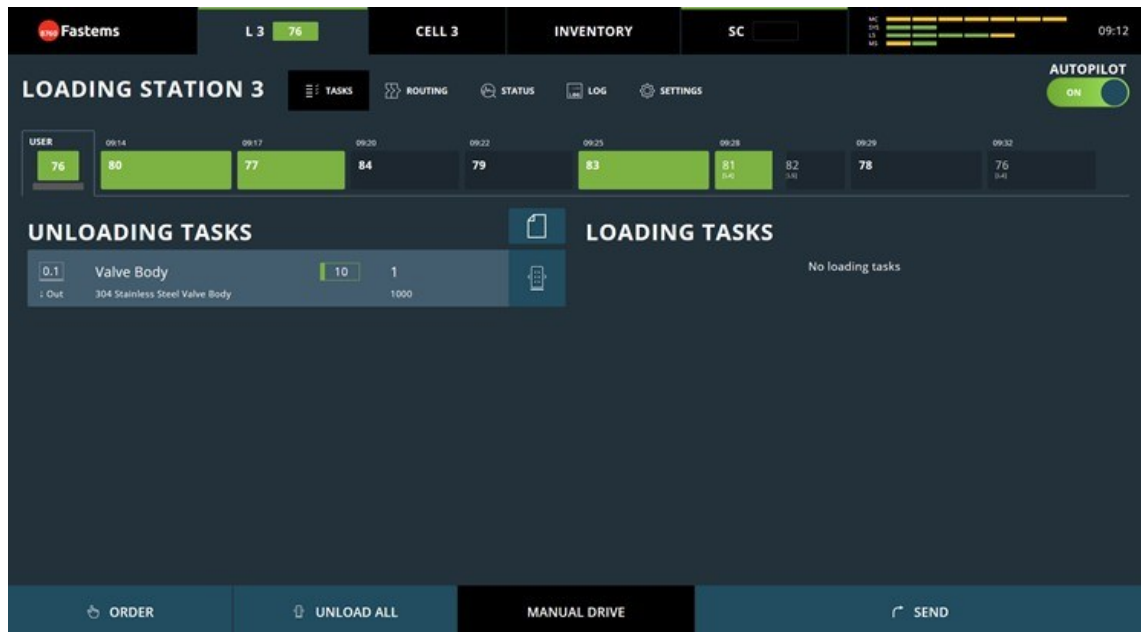


**Kuva 14. Esimerkkikuva Dashboardista**

Dashboardeja luodaan lisäämällä siihen Widgeteja, jotka tarjoavat tietoa valitusta laitteesta tai järjestelmästä yleisesti. Widgetien kokoa ja määrää voidaan muokata vapaasti. Yllä olevassa kuvassa on esillä yhdeksän eri Widgetiä, joista kaikki kuvaavat työstökoneen 1 (MC1) tilannetta. Dashboardeja voidaan hyödyntää esimerkiksi esitellessä järjestelmää vieraille, järjestelmän suorituskyvyn havainnollistamisessa johtoportaalille tai työntekijöiden työn aikatauluttamisessa.

## Groups

Viimeinen päänäkö on Groups-näkö. Näkymän avulla käyttäjä hallitsee lataus- ja materiaaliasemien toimintaa, sekä tarkkailee järjestelmän laitteiden tilaa. Näkö on tarkoitettu tuotannossa työskentelevien työntekijöiden käyttöön. Kuvassa 15 näkyy lataus- aseman perusnäkö.

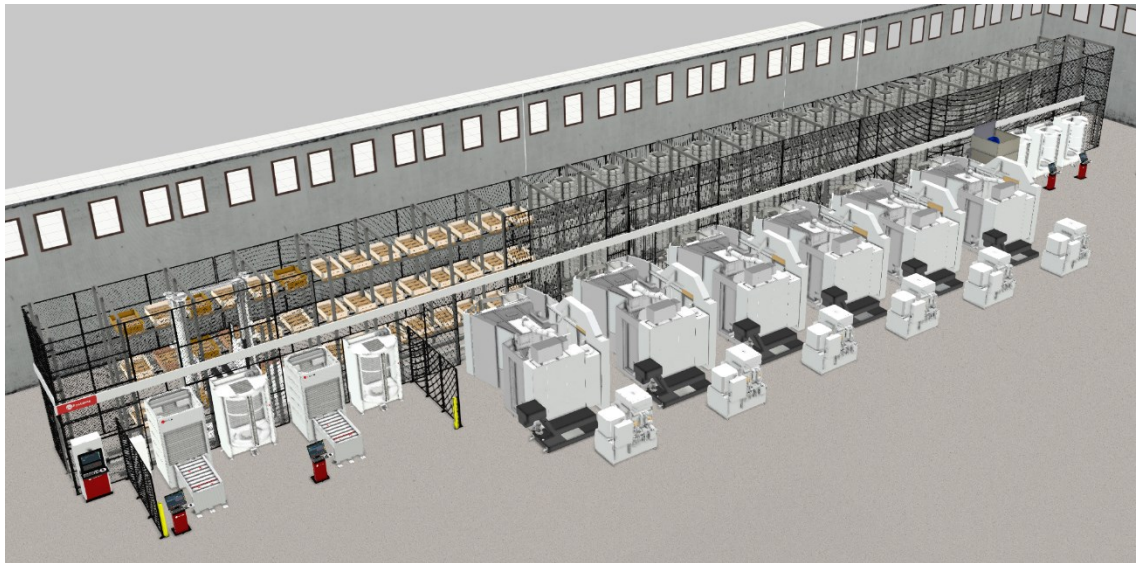


**Kuva 15. Latausaseman perusnäkö**

Groups-näkymän avulla käyttäjä hoitaa kaiken järjestelmän toimintaan liittyvän materiaalihallinnan, sekä vahvistaa järjestelmälle tehdyt lataus- ja purkuoperaatiot. Käyttäjä voi näkymän avulla tarkastella materiaalihissin ottamia kuvia, sekä materiaalihissin lähettämää livekuvaa. Käyttäjä näkee myös hyvin yksityiskohtaisia tietoja esimerkiksi työstöko- neiden ja robottisolujen toiminnasta, tilasta ja käyttöhistoriasta.

### 4.3 Visual Components -malli

Fastemsin toimittaman virtuaalijärjestelmän tueksi luotiin Visual Componentsin avulla toteutettu virtuaalimalli, jonka tarkoituksena oli olla eräänlainen virtuaalijärjestelmän digitaalinen kaksonen. Visual Components on monipuolinen tuotantosimulointiohjelmisto, jonka avulla järjestelmää pystyttiin simuloimaan reaaliaikaisesti. Mallia rakennettiin Tampereen yliopistolla virtuaalijärjestelmän käyttöönoton yhteydessä ja sen tavoitteena oli parantaa opiskelijoiden oppimismahdollisuuksia tuotantotekniikan opintojen parissa sekä perehtyä uuden teknologian tuomiin mahdollisuuksiin. Kuvassa 16 on esitetty Visual Components -mallin tuotantojärjestelmä.



**Kuva 16.** *Visual Components -malli*

Visual Components -malli on toteutettu siten, että se seuraa MMS:n antamia komentoja ja toteuttaa ne samassa järjestyksessä varsinaisen virtuaalijärjestelmän kanssa. Komentojen ja järjestelmän tilan kuuntelu on toteutettu REST-rajapinnan (Representational State Transfer) avulla. Tämän ansiosta virtuaalijärjestelmän ja kyseisen mallin tekemät operaatiot ovat täysin identtisiä. Järjestelmien yhtäaikaisuus on kriittistä, koska harjoituksissa opiskelijat seuraavat virtuaalijärjestelmän toimintaa myös Visual Components -mallin avulla. Mallissa olevat laitetyypit ovat jokainen toteutettuna omana moduulinaan, jolloin niitä voidaan lisätä ja poistaa järjestelmästä helposti. Visual Components -mallin järjestelmän tulee kuitenkin olla täysin samanlainen varsinaisen virtuaalijärjestelmän kanssa, jotta järjestelmää voidaan simuloida oikein. Jokainen laite vastaa itse siitä, että se seuraa MMS:n ilmoittamia laitetiloja. (Nylund et al. 2019)

Harjoitusten kannalta mallin käyttö oli hyvin pelkistettyä. Mallia käytettiin ainoastaan havainnollistamaan tuotantojärjestelmän toimintaa ja erityisesti materiaalihissin liikettä sekä työstökoneiden käyttöä. Toisen harjoituksen aikana Visual Components -mallia



hyödynnettiin heijastamalla se opiskelijoiden näkyviin mikroluokan projektorin avulla. Mallia varten yliopiston mikroluokkaan hankittiin tukikone ja näyttöteline, joiden avulla mallia käytettiin. Mallin tämänhetkisenä hyötynä voidaan pitää sitä, että se antaa opiskelijoille realistisemmän kuvan järjestelmässä olevista laitteista ja niiden toiminnasta verrattuna Fastemsin tarjoamaan 3D-malliin.

#### 4.4 Training Center

Fastemsin Training Center on opetus- ja koulutuskäyttöön tarkoitettu tila, jonka avulla käyttäjät pystyvät turvallisesti tutustumaan oikean tuotantojärjestelmän toimintaan ja käyttämiseen. Training Center sijaitsee Fastemsin tiloissa Lahdesjärvellä. Opetuskäyttöön Training Centeriä käyttää Tampereen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu ja Tampereen ammattikoulu. Tämän lisäksi Fastems hyödyntää Training Centeriä omiin koulutuksiinsa, markkinointiin sekä tutkimus- ja testauskäyttöön. Kuvassa 17 näkyy Training Center ja sen laitteita.



**Kuva 17.** Training Center

Training Center sisältää materiaalihissin ja -varaston, yhden työstökeskuksen, robottisolun, lataus- ja materiaaliaseman sekä kaksi Touch OP -laitetta ja yhden Control Cabinet -laitteen. Materiaalivarasto sisältää noin 25 koneistus- ja materiaalipalettia, jotka ovat yhteiskäytössä. Tuotantojärjestelmä itsessään on hyvin pieni, koska järjestelmällä ei ole tarkoitus tuottaa mitään oikeita tuotteita. Järjestelmän päätarkoituksena on mahdollistaa turvallinen opetus ja toimia testikenttänä uusille laitteille ja ohjausjärjestelmän versioille. (Toivonen et al. 2018) Training Centeriä varten on luotu varauskalenteri, jonka avulla järjestelmän käyttöä voidaan hallita ja suunnitella.

Kurssin kolmannessa harjoituksessa opiskelijat pääsivät tutustumaan ja käyttämään reaalijärjestelmää Training Centerin avulla. Harjoituksessa opiskelijat hyödynsivät aiemmin oppimiaan asioita ja sovelsivat niitä oikean tuotantojärjestelmän käyttöön. Opiskelijat pääsivät harjoituksen aikana myös tutustumaan kiinnittimien ja raaka-aineiden kiinnittämiseen paletteihin. Tarkemmin opetuskäytöstä ja harjoituksista kerrotaan osiossa 4.6 Harjoitukset ja opetuskäyttö.

## 4.5 Käyttöönotto ja dokumentaatio

Fastems toimitti järjestelmän silloiselle Tampereen teknilliselle yliopistolle kesäkuun 2018 alussa. Järjestelmä asennettiin yliopiston mikroluokkaan ja asennuksen jälkeen pidettiin pikakoulutus järjestelmän käyttöön. Pikakoulutuksessa käsiteltiin latausasemien käyttöä, osien luomista ja tilausten tekemistä. Näiden ohjeiden avulla järjestelmän käyttöä pystyi alkaa opettelemaan. Toimitukseen kuului järjestelmän lisäksi kaksi opetuspäivää, joiden tarkoituksena oli saada tarkempi perehdytys järjestelmän käyttöön ja kaikkiin sen ominaisuuksiin. Fastems tarjoaa vastaavia koulutuspäiviä asiakkailleen erityisesti fyysisten järjestelmien toimituksien yhteydessä.

Ensimmäinen koulutuspäivä järjestettiin noin kaksi viikkoa järjestelmän toimituksen jälkeen, jolloin suuri osa järjestelmän toiminnoista oli jo tuttuja. Tämän takia skoulutuksissa keskityttiin lähinnä siihen, miten reaali maailman rajoitteet vaikuttavat järjestelmän käyttöön. Näitä rajoitteita voi olla vaikea huomata, jos käyttää ainoastaan virtuaali järjestelmää. Toinen koulutuspäivä järjestettiin elokuussa ja siinä keskityttiin työkalujen hallintaan sekä ryhmäkiinnittimien ominaisuuksiin. Näiden teemojen lisäksi käytiin läpi kesän aikana ilmenneitä kysymyksiä ja ongelmia.

Kun järjestelmän perustoiminnot ja ominaisuudet olivat selvät, aloitettiin dokumentaation tekeminen järjestelmän käytöstä ja sen teknisestä toteutuksesta. Dokumentaation tekeminen oli kattava prosessi, joka jatkui pitkälle syksyyn asti. Dokumentaatioprosessin tarkoituksena oli tuottaa mahdollisimman kattavat ja yksinkertaiset käyttöohjeet henkilökuntaa varten. Dokumentaatioon sisältyy lisäksi myös järjestelmän teknisiä tietoja sekä ohjeita virhetilanteissa toimimiseen.

Dokumentaatio sisältää lähes kaikki järjestelmän käyttöön vaadittavat ohjeet ja se on tarkoitettu sellaiselle henkilölle, jolla ei ole aiempaa tuntemusta järjestelmän käytöstä. Dokumentaatiossa on kuvattu myös tarkasti kaikki harjoituksissa tarvittavat asiat, jotta harjoitusten vetäjän on helppo omaksua tarvittavat asiat ja niiden erityispiirteet.



Taulukossa 1 on esitelty dokumentaatiota varten luodut dokumentit ja selitetty lyhyesti niiden sisältö.

**Taulukko 1. Dokumentaation sisältö**

Dokumentin nimi	Kuvaus
Asetukset	Kattaa MMS:n ja järjestelmän asetukset
Dashboardien luominen	Opastaa Dashboardien luomista
Järjestelmän käynnistys	Järjestelmän ja palveluiden käynnistys
Käyttöliittymä	Yleisiä ohjeita käyttöliittymään
Latausasemilla toiminta	Latausasemien käyttäminen ja ominaisuudet
Osan luominen	Kattaa kiinnittimien ja osien luomisen
Pikaopas	Yksinkertainen ohje osien valmistamiseen
Ryhmäkiinnittimet	Tietoa ryhmäkiinnittimien käytöstä
ServiceTool	ServiceTool-työkalun käyttö ja ominaisuudet
Tekniset tiedot	Järjestelmän tekniset järjestelyt
Tilastot	Tietoja järjestelmän tarjoamista tilastoista
Turvallisuus	Reaalijärjestelmän turvallisuusratkaisut
Työkalut	Tietoja työkalujenhallinnasta
Työstöohjelmat	Työstöohjelmien käyttö ja sisältö
Virhetilanteista toipuminen	Ohjeistus järjestelmän virhetilojen käsitteilyyn

Näiden dokumenttien lisäksi on harjoituksia varten toteutettu omat ohjeistukset, joissa keskitytään vain harjoituksissa käsiteltäviin asioihin. Harjoituksiin liittyvää ohjeistusta ja sisältöä käsitellään osiossa 4.6 Harjoitukset ja opetuskäyttö.

Korkeakoulujen yhdistymisprosessin seurauksena on syntynyt projekti, jonka tarkoituksena on yhdistää Tampereen yliopiston sekä Tampereen ammattikorkeakoulun opetusta ja opetusmateriaalia. Osana kyseistä projektia on Fastemsin Training Centeriin sekä virtuaalijärjestelmään liittyvät opetusmateriaalit, johon edellä mainitut dokumentit sekä harjoituksia varten tehdyt ohjeet sisältyvät. Luotuja materiaaleja voidaan siis hyödyntää Tampereen yliopiston opetuksen lisäksi Tampereen ammattikorkeakoulun opetuksessa.

## 4.6 Harjoitukset ja opetuskäyttö

Järjestelmää käytettiin opetuksessa ensimmäistä kertaa kevään 2019 aikana. Harjoituspakettiin kuului neljä erillistä harjoitusta, joista kaksi toteutettiin itsenäisesti ja toiset kaksi olivat ohjattuja harjoituksia. Harjoitusten tarkoituksena ei varsinaisesti ollut opettaa opiskelijoita käyttämään MMS:n käyttöliittymää tai opettaa miten latausasemia käytetään, vaan antaa opiskelijoille syvällisempi ymmärrys joustavien tuotantojärjestelmien toiminnasta ja ominaisuuksista.

Koska harjoitukset kuuluivat johdantokurssiin, jossa on opiskelijoita monista eri tutkinto-ohjelmista, pyrittiin harjoitukset pitämään suhteellisen yksinkertaisina, eikä tarkoituksena niinkään ollut perehtyä syvällisesti teoriaosuuteen vaan tuottaa opiskelijoille hyvä ja kattava peruskuvaa joustavista tuotantojärjestelmistä. Harjoitukset suunniteltiin siten, että opiskelijoiden osaaminen kehittyy jatkuvasti ja harjoitukset rakentavat lopulta selkeän kokonaisuuden. Harjoitusten etenemistä voikin ajatella pyramidimaisena, jossa ensimmäinen harjoitus toimii pyramidin pohjana ja muut harjoitukset rakentuvat tämän päälle. Lopulta opiskelijoille muodostuu valmis pyramidi ja heillä on hyvä tietämys joustavien tuotantojärjestelmien perusteista. (Nylund et al. 2019)

Ensimmäisessä harjoituksessa opiskelijoiden oli tarkoitus tutustua harjoitusympäristöön, MMS:n käyttöliittymään ja tuotantojärjestelmän eri laitteisiin. Harjoitus suoritettiin itsenäisesti ja harjoituksessa opiskelijat vastasivat Moodle-tentissä olleisiin kysymyksiin. Harjoitusta varten opiskelijoille oli luotu virtuaalijärjestelmään 15 käyttäjätunnusta, joiden oikeuksia oli rajoitettu väärinkäytön minimoimiseksi. Ennen harjoitusta opiskelijat varasivat kalenterista itselleen käyttäjätunnuksen, jolla he kirjautuivat virtuaaliympäristöön. Harjoitus oli mahdollista suorittaa kolmen viikon aikaikkunassa, eikä yrityskertoja rajoitettu. Harjoituksen ohjeistukseen kuului kolme eri dokumenttia, joissa ohjeistettiin järjestelmään kirjautuminen, käyttöliittymän perusteet sekä kerrottiin joustavien tuotantojärjestelmien erilaisista laitteista ja toiminnasta.

Tutustumisharjoituksen Moodle-tentissä oli 19 kysymystä, joista kuusi ensimmäistä keskittyi joustavien tuotantojärjestelmien teoriaan, kolme seuraavaa Training Center-ympäristöön, yhdeksän seuraavaa tiedonhakuun MMS:n käyttöliittymästä ja viimeinen kurssin järjestelyihin. Kysymykset olivat monivalintakysymyksiä, joissa oli vain yksi oikea vastaus. Tentin kysymyksien ei ollut tarkoitus olla vaikeita vaan niiden tehtävänä oli johdella opiskelijaa tutustumaan järjestelmään ja sen ominaisuuksiin.

Teoriaosion kysymyksien vastaukset löytyivät harjoitukseen kuuluvasta dokumentista, jossa esiteltiin joustavien tuotantojärjestelmien perusteet ja niihin liittyvät laitteet. Training Center-osion vastaukset löytyivät opiskelijoille annetusta 3D-kuvasta, jonka Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijat olivat tehneet Training Centeristä. Kysymysosion tarkoituksena oli varmistaa, että opiskelijat tietävät miltä Training Center näyttää ennen varsinaisia Training Center harjoituksia. Viimeinen varsinainen osio keskittyi ohjaamaan opiskelijoita järjestelmän käyttöliittymään tutustumisessa. Kuvassa 18 on esitettyä yksi tentissä ollut kysymys ja sen vastausvaihtoehdot kysymysten idean havainnollistamiseksi.

**Kysymys 12**  
 Ei vielä vastattu  
 Kokonaispisteistä 1,00  
 Merkitse kysymys  
 Muokkaa kysymystä

Mistä löydän kaikkien järjestelmässä olevien raaka-aineiden ja osien tiedot? (MMS UI)

Valitse yksi:

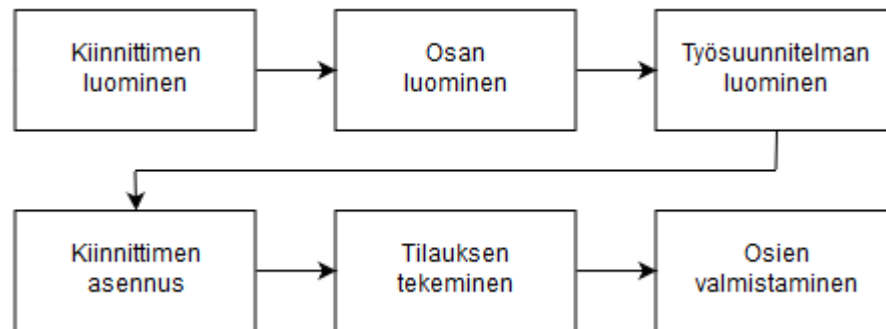
- ☐ a. Front Page -> DataManager -> Master Data -> Part Master Data
- ☐ b. Front Page -> DataManager -> Overview -> Parts
- ☐ c. Front Page -> DataManager -> Production -> Schedule -> Parts

**Kuva 18. Esimerkkikysymys**

Tentin tarkoituksena on, että opiskelija käy läpi kaikki kysymyksen vastausvaihtoehdot ja seuraa niiden tarjoamaa "reittiä" käyttöliittymässä, jotta hän löytää oikean vastauksen. Tällöin opiskelija samalla tutustuu järjestelmän käyttöliittymään, oppii mistä välilehdistä löytyy mitään tietoa ja miten käyttöliittymä toimii. Näitä taitoja opiskelija tarvitsee seuravissa harjoituksissa, joissa hänen tulee navigoida käyttöliittymässä ja oikeasti käyttää järjestelmää. Kun opiskelija osaa navigoida käyttöliittymässä, on hänen helpompi keskittyä opetuksen kannalta tärkeämpiin asioihin seuraavissa harjoituksissa.

Johdantokurssin toinen harjoitus järjestettiin ohjattuna harjoituksena yliopiston mikroluokassa. Harjoituksessa hyödynnettiin virtuaalijärjestelmään kuuluvia tietokoneita, projektorita sekä Touch OP -laitetta. Harjoitukset toteutettiin 10 hengen ryhmissä ja opiskelijat ilmoittautuivat harjoitukseen etukäteen Moodlessa. Harjoituksen alussa opiskelijat perehdytettiin ensin virtuaalijärjestelmään, Touch OP:n ominaisuuksiin sekä virtuaalimalliin. Opiskelijoilla oli myös mahdollisuus esittää ensimmäiseen harjoitukseen ja sen teoriaosuuteen liittyviä kysymyksiä, mikäli asioita oli jäänyt epäselväksi. Perehdytyksen ja kysymysten jälkeen opiskelijoille kerrottiin harjoituksen eri vaiheet sekä yleisiä ohjeita tilauslomakkeeseen ja ohjeisiin liittyen. Tämän jälkeen opiskelijat jaettiin 2-3 hengen ryhmiiin ja näille ryhmille jaettiin harjoituksen materiaalit, joiden opastamana opiskelijat aloittivat harjoituksen tekemisen.

Harjoituksen tarkoituksena oli perehdyttää opiskelijat joustavan tuotantojärjestelmän peruskäyttöön. Peruskäytöksi luokitellaan sellaiset toiminnot, joita vaaditaan osan valmistuksen mahdollistamiseksi järjestelmällä. Näihin toimintoihin kuuluu siis kiinnittimien luominen, osien ja niiden perustietojen luominen, osan työsuunnitelman luominen, tilauksen tekeminen sekä järjestelmän latausasemien käyttäminen. Kuvassa 18 on havainnollistettu toiseen harjoitukseen kuuluvat toiminnot ja osan luomisen eteneminen.



**Kuva 19.** Toisen harjoituksen toiminnot

Harjoitus on jaettu kahteen vaiheeseen, joissa molemmissa opiskelijat suorittavat samanlaisen reitin. Kun ryhmä saa suoritettua ensimmäisen vaiheen he siirtyvät toiseen vaiheeseen. Erona näiden vaiheiden välillä on se, että ensimmäisessä vaiheessa opiskelijoilla on käytössään todella tarkat ja kattavat ohjeet, kun taas toisessa vaiheessa opiskelijoiden tulee pyrkiä suoriutumaan ilman tarkkaa ohjeistusta. Opiskelijoille jaetaan ennen toista vaihetta kaavio, jossa on esitetty osan valmistamiseen tarvittavat vaiheet. Opiskelijoille jaettava kaavio on hyvin samanlainen kuin yllä oleva kuva 19. Koska harjoituksissa toimitaan pienryhmissä, opiskelijat oppivat myös työskentelemään sekä ratkomaan ongelmatilanteita yhteistyössä.

Toisen harjoituksen jälkeen opiskelijan tietämys järjestelmän peruskäytöstä tulisi olla jo hyvällä tasolla ja opiskelijan tulisi osata käyttää järjestelmän tärkeimpiä ominaisuuksia itsenäisesti. Opiskelijoilla on harjoituksen jälkeen hyvät valmiudet siirtyä seuraavassa harjoituksessa käyttämään Training Centerissä sijaitsevaa fyysistä järjestelmää.

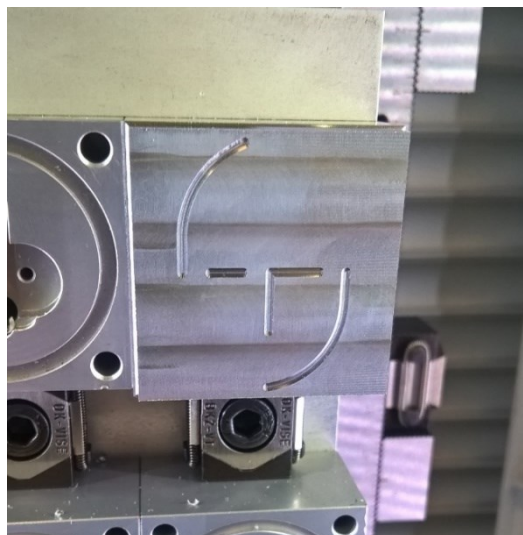
Kolmannessa harjoituksessa opiskelijat siirtyivät virtuaalijärjestelmästä reaalijärjestelmän käyttämiseen. Harjoitus toteutettiin Fastemsin Training Centerissä Lahdesjärvellä. Harjoituksen ideana on, että opiskelijat pääsevät tutustumaan reaalijärjestelmän toimintaan ja käyttöön. Harjoituksen jälkeen opiskelijoille pidettiin tehdaskierros Fastemsin tiiloissa. Harjoitukset pidettiin yhdeksän hengen ryhmissä.

Harjoitus aloitettiin nopealla katsauksella Training Centerin toimintaan sekä sen käyttäjäryhmiin. Tämän jälkeen opiskelijat jaettiin kahteen ryhmään ja heidät perehdytettiin jär-

jestelmän ja sen laitteiden toimintaan sekä palettien ja kiinnittimien käyttöön ja ominaisuuksiin. Perehdytyksen jälkeen opiskelijat jaettiin kolmeen pienryhmään ja he aloittivat harjoituksen suorittamisen.

Training Center sisältää kolme StationCommander-asemaa, joista kaksi on Touch OP -laitteita ja yksi Control Cabinet, joiden ansiosta jokainen ryhmä pystyy työskentelemään yhtäaikaaisesti. Varsinainen harjoitus alkoi viime harjoituksesta tutusta osan ja tilauksen luomisesta, jonka jälkeen opiskelijat siirtyivät ryhmittäin työskentelemään latausasemia hallitsevalle Touch OP -laitteelle. Opiskelijat tilasivat aluksi tarvitsemansa paletin latausasemalle ja asensivat siihen kiinnittimen ensin fyysisesti ja sitten vielä ohjelmallisesti. Tämän jälkeen järjestelmä toi materiaaliasemalle tarvittavat raaka-aineet ja opiskelijat latasivat kyseiset raaka-aineet kiinnittimeen. Kun opiskelijat vahvistivat järjestelmälle, että paletille on ladattu raaka-ainetta, he pystyivät lähettämään paletin reitille.

Opiskelijat pystyivät seuraamaan paletin reittiä helposti työstökoneen seinään kiinnitetyn kameran avulla tai katsomalla suoraan robottisolua. Kameran livekuvaa lähetettiin työstökoneen vieressä olevaan televisioon ja siitä opiskelijat näkivät työstökoneen toimintaa. Samalla opiskelijoille selostettiin työstön eri vaiheita ja työstökoneen ominaisuuksia. Paletin käytyä reitillä se palasi takaisin latausasemalle purettavaksi. Tämän jälkeen opiskelijat irrottivat valmiin osan kiinnittimestä ja latasivat uudet raaka-aineet kiinnittimeen. Tällä kertaa palettia ei kuitenkaan lähetetty suoraan reitille, vaan sen tila asetettiin keskeytetyksi, jotta muut ryhmät voivat tässä välissä kokeilla omia lataus- ja purkutehtäviään.



**Kuva 20.** *Opiskelijoiden työstämä kappale*

Harjoituksessa jokaiselle ryhmälle annettiin valmistettavaksi erilainen osa. Ryhmä 1 valmisti kuvassa 20 näkyvän alumiinisen särmiön, jonka pintaan työstettiin ensimmäisellä

viikolla uuden Tampereen korkeakouluyhteisön logo ja toisella viikolla särmion kääntöpuolelle työstettiin vanhan Tampereen teknillisen yliopiston logo.

Opiskelijat saivat itse asentaa kiinnittimen palettiin ja sen jälkeen he kiinnittivät aihion kiinnittimeen ja lähettivät paletin reitille. Opiskelijoiden käyttämä kiinnitin näkyy ylläolevassa kuvassa työstetyn kappaleen alapuolella. Toisen ryhmän ja kolmannen ryhmän osia, aihioita ja kiinnittimiä simuloitiin magneettien avulla ajan ja kulujen säästämiseksi. Oikeiden kiinnittimien ja aihioden asentaminen jaettiin kuitenkin siten, että jokaisella ryhmällä oli mahdollisuus kokeilla niitä. Näin ollen magneettien avulla saatiin tuotua nopeasti rutiinia ja kerrattua aihioden lataamiseen ja purkamiseen vaadittuja toimia, vaikka ne eivät täysin vastanneetkaan oikeaa tilannetta.

Ryhmän 2 valmistettava osa sisälsi työstövaiheessa robottidemon, jonka tarkoituksena oli havainnollistaa opiskelijoille robotin mahdollistamaa kappaleenkäsittelyä ja työkalunvaihtoa. Kyseiseen osaan ei liittynyt mitään oikeita valmistusoperaatioita, vaan sen tarkoitus oli puhtaasti esitellä robottisolun toimintaa. Opiskelijat kuitenkin harjoittelivat lataus- ja purkuoperaatioita normaalisti magneettien avulla.

Ryhmän 3 kappaleena oli NAS-kappale (National Aerospace Standard), jolla normaalisti testataan työstökoneen ja sen työkalujen toimivuutta ja tarkkuutta. Tässä harjoituksessa kuitenkin käytettiin jo työstettyjä NAS-kappaleita ja ne työstettiin havainnollistamisen vuoksi uudelleen. Työstäminen tapahtui kuitenkin siten, ettei terä koskettanut kappaletta työstön aikana. Työstämisen jälkeen kappale lähti robottisolulle, jossa robotti viisteytti kappaleeseen poratut reiät. Tässäkään vaiheessa mitään oikeaa valmistusta ei tapahtunut, vaan kyseessä oli vain jo viisteytettyjen reikien uudelleenviisteytytys. Myös kolmas ryhmä harjoitteli lataus- ja purkuoperaatioita magneettien avulla.

Kun kaikki kolme ryhmää olivat saaneet oman kappaleensa valmistettua ja paletit odottivat uudelleenladattuina hyllyvarastossa, aloitettiin järjestelmän kuormittaminen kolmella paletilla. Tämän vaiheen ideana oli havainnollistaa opiskelijoille sitä, miltä järjestelmän toiminta mahdollisesti näyttää realistisemmassa tilanteessa, jossa valmistetaan monia erilaisia osia yhtäaikaaisesti. Opiskelijat pystyivät jälleen seuraamaan palettien reittejä sekä työstökoneen ja robottisolun toimintaa valmistusoperaatioiden aikana. Paletin saavuttua latausasemalle kyseisestä paletista huolehtiva ryhmä purki sen ja latasi uudet raaka-aineet paletille. Paletteja kierrätettiin tuotannossa kolme kierrosta, jotta opiskelijoille jäisi selvä mielikuva latausasemien toiminnasta ja tuotannon kulusta.

Harjoituksen lopussa opiskelijoiden tehtävänä oli purkaa paletit ja poistaa niistä harjoituksessa käytetyt kiinnittimet. Tämän jälkeen opiskelijat poistivat kiinnittimen paletilta myös ohjelmallisesti ja lopulta poistivat tekemänsä tilauksen ja osan järjestelmästä.

Opiskelijoille esiteltiin tämän jälkeen hissikuilua ja robottisolun ohjausta, jonka jälkeen he lähtivät Fastemsin tarjoamalla ohjatulle tehdaskierrokselle. Ennen tehdaskierrosta opiskelijoilla oli mahdollisuus kysyä harjoituksen aikana tai sen jälkeen ilmenneitä kysymyksiä.

Kurssin viimeisessä harjoituksessa opiskelijat tutustuvat MMS:n Dashboard ominaisuu- teen, jossa käyttäjät voivat tarkastella ja luoda uusia näkymiä, eli Dashboardeja, liittyen järjestelmän tilaan, aikatauluihin ja suorituskyykyyn. Opiskelijoiden tehtävänä oli tutkia en- sin järjestelmästä löytyviä valmiita Dashboardeja ja muodostaa sitten omansa. Opiskeli- joille annettiin kolme eri kohderyhmää, joista he valitsivat yhden. Tarkoituksena oli rää- tälöidä Dashboard juuri tämän kohderyhmän tarpeisiin. Harjoitus toteutettiin itsenäisesti ja opiskelijat palauttivat harjoituksen lopuksi Moodleen dokumentin, jossa oli kuvakaap- pauksia luodusta Dashboardista, sen ominaisuuksien esittelyä sekä perustelut Dashboardin luomisessa tehtyihin valintoihin.

## 4.7 Havainnot

Kurssin MEI-50400 Johdanto tuotantotekniikkaan aikana opiskelijat saivat ensimmäisen kosketuksena juostaviin tuotantojärjestelmiin. Opiskelijat pääsivät tutustumaan tuotanto- järjestelmiin virtuaalimallin sekä Training Centerin avulla. Opiskelijoiden oppimisen seu- raaminen oli hyvin mielenkiintoista, koska kyseessä on ensimmäinen kerta, kun virtuaa- lista tuotantojärjestelmää käytetään opetustarkoituksessa Tampereen yliopistolla.

Ensimmäisen harjoituksen perusteella opiskelijat tutustuivat järjestelmän käyttöliitty- mään ja harjoitusympäristöön onnistuneesti. Opiskelijoiden tekemien tenttien keskiarvo oli 17/19 pistettä, joka on erittäin hyvä tulos. Hyvään suoriutumiseen vaikuttaa kuitenkin rajattomat suorituskerrat, sekä se, että tentin oli tarkoitus lähinnä vain ohjata opiskelijo- den tutustumista harjoitusympäristöön. Opiskelijoiden väärät vastaukset selittyvät suu- rilta osin siten, että opiskelija on sekoittanut käsitteet keskenään. Esimerkiksi yksi ylei- nen virhe oli fyysisten työkalujen ja näiden työkalujen perustietojen sekoittaminen kes- kenään. Yleisesti ottaen opiskelijat ymmärsivät kuitenkin käyttöliittymän idean ja pystyi- vät näin ollen helposti rakentamaan tietämystään järjestelmän käytöstä seuraavissa har- joituksissa.

Toisessa harjoituksessa opiskelijoiden oli tehtävänä toimia ryhmässä ja luoda järjestel- mään uusia osia, sekä lopulta valmistaa niitä. Yleisesti ottaen opiskelijat suoriutuivat har- joituksesta hyvin, eikä suuria ongelmia ilmennyt. Opiskelijat loivat ensimmäisen osan tarkkojen ohjeiden avulla ja toistivat tämän jälkeen harjoituksen ilman tarkkoja ohjeita.

Yleisimmät opiskelijoiden tekemät virheet olivat asioiden tekeminen väärässä järjestyksessä, paletin tilaamisen ja tilauksen tekemisen sekoittaminen, sekä työsuunnitelman tekemisen unohtaminen. Havaintojen perusteella työsuunnitelman unohtamisen yleisyys johtui todennäköisesti siitä, että sen tekemiseen tarvittava painike ei näy, jos käyttäjä ei vie hiirtään tiettyyn kohtaan. Tässä tilanteessa käyttäjän on helppo unohtaa työsuunnitelman tekeminen, koska sen tekemiselle ei ole mitään ilmiselvää painiketta.

Opiskelijoiden siirtyminen tarkoista ohjeista yksinkertaistettuun versioon sujui hyvin. Opiskelijat muistivat tarvittavat painikkeet ja toiminnot, koska ne olivat sijoitettu järkevästi käyttöliittymässä ja noudattivat loogista järjestystä. Myös ryhmissä toimiminen usein auttoi harjoituksen etenemistä, koska tällöin opiskelijat pystyivät yhdessä pohtia tarvittavia toimia. Opiskelijat olivat toisen harjoituksen aikana erityisen kiinnostuneita järjestelmän 3D-mallista, joka heijastettiin mikroluokan seinälle projektorin avulla. Opiskelijoiden mielestä Visual Components -mallin näkeminen ja sen reaaliaikaisuus auttoi oppimisen ymmärtämisessä.

Toisen harjoituksen jälkeen osalle opiskelijoista oli vielä epäselvää, miten kiinnittimet toimivat ja miten niitä käytännössä hyödynnetään. Myös reaali maailman rajoitukset ja huomiot sekä järjestelmän realistinen kuormitus kiinnosti opiskelijoita. Näiden ominaisuuksien demonstroiminen virtuaalijärjestelmän avulla on vaikeaa, joten niitä tulisi mahdollisesti käsitellä ennen harjoituksia esimerkiksi luennoilla tai itsenäisinä tehtävinä.

Opiskelijoiden valmistaessa osia heillä oli järjestelmän kuormituksesta riippuen usein paljon odottamista. Odottamisen vähentämiseksi lataus- ja purkutehtäviin voitaisiin tuoda pelillistämistä. Yksi vaihtoehto tähän voisi olla se, että opiskelijoiden tulee ensin vastata harjoitukseen liittyviin kysymyksiin ennen kuin he voivat kuitata lataus- ja purkutehtävät tehdyiksi. Toinen vaihtoehto olisi se, että opiskelijat katsovat lataus- ja purkutehtäviin liittyvän videon ennen kuin he kuittaavat ne tehdyiksi. Tällöin opiskelijat eivät kyllästy odottamiseen ja kolmen eri nappulan painamiseen ja voivat oikeasti oppia samalla.

Kolmannessa harjoituksessa opiskelijat pääsivät tutustumaan reaali järjestelmän toimintaan. Harjoituksen tarkoituksena oli taas rakentaa aiemmin opittujen asioiden päälle ja syventää opiskelijoiden ymmärrystä joustavista tuotantojärjestelmistä. Harjoituksen aikana opiskelijat olivat erityisen kiinnostuneita robottidemosta sekä työstökoneen toiminnasta. Myös hissien liikkeet ja sekä MMS:n tekemät päätökset kiinnostivat opiskelijoita. Harjoituksen jälkeen opiskelijoita kiinnosti erityisesti joustavien tuotantojärjestelmien käytön laajuus sekä Fastemsin tuotteisiin liittyvät asiat.



Seuraavaksi tarkastellaan opiskelijoiden Dashboard-harjoituksen vastauksista kerättyä aineistoa. Aineisto koostuu noin 90 opiskelijan vastauksista. Opiskelijoiden valitsemat kohderyhmät jakautuivat suhteellisen tasaisesti, sillä jokaiselle kohderyhmälle tehtiin noin 30 Dashboardia. Kaikista suosituin kohderyhmä oli yrityksen johto, jonka valitsi 36 opiskelijaa. Kohderyhmän valintaan vaikutti opiskelijoiden mukaan erityisesti vaihtoehdon yleinen kiinnostavuus, mahdollisuus tulevaisuuden työtehtäviin kyseisessä kohderyhmässä sekä Dashboardien soveltuvuus kohderyhmän käyttöön.

Taulukossa 2 on esiteltynä suosituimpia perusteluja Widgetien käyttöön.

**Taulukko 2.** *Opiskelijoiden tarpeet Widgeille*

Tarve Widgeille	Määrä
Aikataulutus	48
Yleiskuva	47
Käytettävien laitteiden tilat	47
Järjestelmän kuormitus	41
Vikojen ilmeneminen ja syyt	38
Tilaukset	31
Visualisointi	23
Reaaliaikaisuus	18
Materiaalien tilanne	18
Työkalujen tila	18
Tehdyt osat	17
Laitteiden kuormituksen vertailu	14

Taulukosta 2 nähdään, että opiskelijoiden mielestä tärkeimmät Dashboardiin liittyvät tiedot olivat aikataulut, yleiskuva, laitteiden tilat ja järjestelmän kuormitus. Myös vikojen ilmeneminen ja niiden syyt sekä tilauksiin liittyvät tiedot kiinnostivat opiskelijoita. Muita usein mainittuja asioita olivat järjestelmän visualisointi, tiedon reaaliaikaisuus, sekä materiaalien ja työkalujen tila. Valintojen perusteella opiskelijat ovat sisäistäneet joustavan tuotantojärjestelmän oleelliset ominaisuudet sekä osaavat pohtia mitkä asiat kiinnostavat mitäkin kohderyhmää.

Opiskelijoilta myös pyydettiin kertomaan, millaisia ominaisuuksia he olisivat halunneet lisätä Dashboardeihinsa. Suurin osa opiskelijoista ei kuitenkaan kokenut tarvitsemansa mitään lisäominaisuuksia. Yleisin opiskelijoiden esittämä toive oli saada monen eri laitteen tietoja yhteen Widgeiin. Nyt jos opiskelijat halusivat vertailla kahden eri laitteen tilastoja, heidän piti varata tilaa Dashboardilta vähintään kahdelle Widgeille. Toinen yleinen toive oli saada näkyviin jonkinlainen yleismittari tuotannosta. Opiskelijoita kiinnosti

myös erityisesti keskimääräisen keskeneräisen tuotannon määrä sekä virheellisten osien suhde valmistettuihin osiin.

## 4.8 Jatkokehitys ja tulevaisuus

Projektin ja siihen liittyvän teknologian uutuuden takia järjestelmän jatkokehitys tulee todennäköisesti olemaan nopeaa. Kaikki muutokset järjestelmän toimintaan vaikuttavat siihen, että millaisia harjoituksia järjestelmällä voidaan pitää. Kurssilta saadun palautteen perusteella kyetään tekemään myös tarvittavia muutoksia opetuksen ja harjoitusten suhteen. Myös osiossa 4.7 Havainnot ilmenneet asiat tullaan huomioimaan kurssiin liittyvässä jatkokehityksessä.

Tampereen yliopiston kannalta jatkokehitys tulee todennäköisesti keskittymään järjestelmän ja opetusympäristön hyödyntämiseen myös muilla kursseilla. Vaikeuksia harjoitusten suunnittelussa aiheutti se, että kurssi MEI-50400 Johdanto tuotantotekniikkaan on johdantokurssi ja kurssin osallistujamäärä on kohtalaisen suuri. Nämä asiat rajoittavat sitä, että millaisia harjoituksia kurssilla voidaan järjestää ja tästä syystä johdantokurssilla aiheeseen tarjottiin vain yleiskatsaus. Pienemmillä kursseilla voidaan usein järjestää huomattavasti yksityiskohtaisempaa opetusta, koska resursseja on tällöin oppilasta kohden enemmän.

Jatkokursseilla opetukseen voidaan sisällyttää esimerkiksi tuotannon suunnittelua ja optimointia, joiden oppiminen vaatii hyvät pohjatiedot aiheeseen. Jatkokurssien opiskelijamäärä on usein merkittävästi pienempi, jolloin järjestelmään ja sen toimintaan voidaan perehtyä yksityiskohtaisemmin. Tällöin opiskelijat pääsevät tutustumaan suureen osaan järjestelmän ominaisuuksista. Pieni opiskelijamäärä mahdollistaa myös virtuaalilasien käytön opetuksen yhteydessä. Niiden avulla opiskelijat pääsevät tutustumaan joustavan tuotantojärjestelmän toimintaan erittäin läheltä ilman, että heidän pitää mennä käymään Training Centerissä.

Tulevaisuudessa MMS tulee tarjoamaan rajapinnan, jonka avulla Visual Components -mallin tehokkuutta voidaan parantaa, koska mallin ei tarvitse täten enää tehdä jatkuvasti kyselyjä järjestelmän tilasta. Malli voi rajapinnan avulla saada tiedon järjestelmän tai laitteen tilasta aina tarvittaessa. Tarkoituksena on myös mahdollistaa tiettyjen skenaarioiden etukäteissimulaatio, jolloin mallia voidaan käyttää demonstroimaan tiettyjä tuotantoskenaarioita myös ilman yhteyttä varsinaiseen virtuaalijärjestelmään. Tämän ominaisuuden avulla opiskelijoille voidaan demonstroida esimerkiksi työstökoneiden määrän vaikutusta tuotannon sujuvuuteen tai mahdollisten virhetilanteiden haittavaikutuksia.

Ominaisuus mahdollistaa myös opiskelijoiden itsenäiset optimointitehtävät, jossa heidän tulee itse selvittää optimaalinen laitekonfiguraatio tiettyyn tuotantoskenaarioon.

## 5. YHTEENVETO

Tässä työssä tutustuttiin Tampereen yliopiston hankkimaan virtuaaliseen tuotantojärjestelmään sekä sen käyttöön opetuksessa. Työn teoriaosiossa käsiteltiin joustavia tuotantojärjestelmiä, niiden laitteita sekä joustavuutta. Lisäksi perehdyttiin virtuaalimallien toimintaan ja niiden eri sovelluksiin.

Joustavat tuotantojärjestelmät muodostuvat kolmesta pääkomponentista: materiaalinhallinta, työasemat ja tuotannonohjausjärjestelmä. Näiden kolmen komponentin yhteensopivuus ja toiminta muodostavat perustan koko tuotantojärjestelmän toiminnalle. Joustavien tuotantojärjestelmien suurimmat hyödyt tulevat järjestelmien joustavuudesta. Joustavuus mahdollistaa nopeat ja kustannustehokkaat asetusajat, kasvattaa koneiden käyttöastetta ja vähentää tarvittavien työkalujen määrää dynaamisen reitityksen avulla, minimoi keskeneräisen tuotannon ja varaston kokoa sekä vähentää valmistuksessa tarvittavien ihmisten määrää.

Virtuaalimallien avulla pystytään simuloimaan ja ennustamaan tuotteiden sekä järjestelmien toimivuutta ja elinkaarta. Tämä mahdollistaa prototyyppien luomisen sekä tuotekehityksen kustannustehokkaasti ja nopeasti. Virtuaalimalleja voidaan myös hyödyntää opetuksessa, jolloin esimerkiksi henkilöstön koulutus voidaan aloittaa jo ennen järjestelmän toimitusta.

CASE-osiossa seurattiin opetusympäristön käyttöönottoa sekä opiskelijoiden tutustumista opetusympäristöön. Opiskelijat suorittivat kevään aikana neljä eri harjoitusta, joiden tarkoituksena oli opettaa heille joustavien tuotantojärjestelmien perusteet. Opiskelijat suoriutuivat harjoituksista mallikkaasti ja opetusympäristön käyttöä tullaan jatkossa laajentamaan. Opetusympäristön jatkokehityksen tavoitteina on sisällyttää sen käyttöä myös muille kursseille, jolloin ympäristöön voidaan perehtyä syvällisemmin.

# LÄHTEET

- Beach, R., A. P. Muhlemann, D. H. R. Price, A. Paterson, and J. A. Sharp. 2000. "A Review of Manufacturing Flexibility." *European Journal of Operational Research* 122 (1): 41–57.
- Bonetto, R. 1988. *Flexible Manufacturing Systems in Practice*. London: North Oxford Academic.
- De Toni, A. and S. Tonchia. 1998. "Manufacturing Flexibility: A Literature Review." *International Journal of Production Research* 36 (6): 1587–1617.
- Fastems. 2019. Fastems - Factory Automation For The Metal Cutting Industries. Viitattu 30.3.2019. Saatavilla: <https://www.fastems.com/>
- Kikolski, Mateusz. 2017. *Study of Production Scenarios with the use of Simulation Models*. Vol. 182.
- Mourtzis, D., M. Doukas, and D. Bernidaki. 2014. *Simulation in Manufacturing: Review and Challenges*. Vol. 25.
- Nylund, Hasse, Veikko Valjus, Ville Toivonen, Minna Lanz & Harri Nieminen (2019). "The virtual FMS – an engineering education environment." *Procedia Manufacturing* 31: 251–257.
- Schleich, Benjamin, Nabil Anwer, Luc Mathieu, and Sandro Wartzack. 2017. "Shaping the Digital Twin for Design and Production Engineering." *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 66 (1): 141–144.
- Seth, Vijay K. 2003. "The Beginning and End of Primitive Flexible Manufacturing System." *Journal of Management Research* 3 (2): 73.
- Shivanand, H. K., M. M. Benal, V. Koti, and Inc ebrary. 2006. *Flexible Manufacturing System*. New Delhi: New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Toivonen, Ville, Minna Lanz, Hasse Nylund and Harri Nieminen. 2018. "The FMS Training Center - a Versatile Learning Environment for Engineering Education." *Procedia Manufacturing* 23: 135–140.